



# Revista de la Universidad del Valle de Guatemala

Junio 2014

No. 27

## Número especial

Proyecto para el Desarrollo Agrícola  
auspiciado por el Programa Food for Progress del Departamento  
de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)

## Las alianzas como herramienta para el desarrollo

Guatemala, con su población de 15 millones de habitantes<sup>1</sup>, enfrenta serios problemas de desarrollo. Entre estos se encuentran los más altos índices de desnutrición crónica del hemisferio<sup>2</sup> y que el 50% de la población vive en pobreza. El 30% de la población económicamente activa se dedica a la agricultura<sup>3</sup>, por lo que el incrementar la productividad en este sector es de suma importancia para el desarrollo del país. Adicionalmente, el 50% de la población es menor de 20 años<sup>4</sup>, lo que nos indica que la creación de empleos es de vital importancia para el futuro de Guatemala.

A pesar de estos retos Guatemala está en posición de mejorar y crecer, siempre y cuando se logren coordinar los múltiples esfuerzos de los sectores público, académico, privado e internacional. Las políticas agrícolas del estado llaman a la transformación y modernización agrícola, el incremento en la competitividad, y el incremento en la extensión, capacitación y transferencia<sup>5</sup>. Los agricultores y pequeños emprendedores buscan el valor agregado y la información necesaria para mejorar su situación de vida. La comunidad internacional destina fondos considerables a la consecución de las metas del milenio y la erradicación de la pobreza. En medio de estos esfuerzos, el sector académico juega un papel fundamental y articulador, puesto que la educación, investigación y transferencia que constituyen los pilares de la academia, vinculan los objetivos del gobierno y de los donantes con las necesidades de la población. A través de la exitosa y transparente gestión de fondos, encaminados a objetivos claros y consensuados con la comunidad, industria y socios estratégicos, la academia puede lograr impactos sostenidos a través del tiempo. Estos esfuerzos e impactos no suceden de forma aislada, sino son el producto de alianzas entre diversos sectores donde el desarrollo es responsabilidad de todos.

Como parte de estos esfuerzos, el Gobierno de los Estados Unidos de América ha sido un socio estratégico a través de

varios programas de apoyo. La iniciativa Alimentos para el Futuro (*Feed the Future*) del gobierno de los Estados Unidos de América, tiene como objetivo reducir la pobreza y el hambre a nivel mundial. Dentro de esta estrategia, se prioriza el crecimiento de los sectores agrícolas y la mejora en el estado nutricional de la mujer y los niños. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), a través de su servicio agrícola exterior y bajo la sombrilla de Alimentos para el Futuro, administra el programa Alimentos para el Progreso (*Food for Progress*). Este programa se dedica a incrementar la productividad agrícola y la expansión del comercio por medio de la capacitación y transferencia de mejores prácticas agrícolas, administrativas y de post cosecha, así como la facilitación de acceso a mercados y a instrumentos financieros.

### Proyecto para el Desarrollo Agrícola UVG-USDA FFP10

Dentro del marco del programa Alimentos para el Progreso, la Universidad del Valle de Guatemala ha participado en la ejecución de dos proyectos enfocados en el desarrollo agrícola: El primero como socio de la universidad de Texas A&M y el segundo como ejecutor principal. La presente edición de la Revista Universidad del Valle de Guatemala se dedica a este último proyecto, presentando algunos de los muchos resultados derivados de tres años de intervención. Esta intervención, conocida como Proyecto para el Desarrollo Agrícola UVG-USDA FFP10, tuvo tres componentes: el primero fue enfocado en investigación aplicada y producción de alimentos relacionados a cultivos de relevancia en la costa sur y Altiplano, el segundo se enfocó en la transferencia de tecnología agrícola, y el tercero enfocado en el fortalecimiento de agronegocios. A través de investigación, capacitación, transferencia y acompañamiento, se logró ensayar soluciones agrícolas innovadoras, proponer alimentos con alto valor nutricional, instalar invernaderos,

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Estadística (<http://www.ine.gob.gt>)

<sup>2</sup>Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil (ENSMI), 2009

<sup>3</sup>Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos 2013

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Estadística (<http://www.ine.gob.gt>)

<sup>5</sup>Política Agropecuaria 2008-2012

macrotúneles, sistemas de riego y otras tecnologías, así como incubar y asesorar empresas y a los emprendedores. En total se logró impactar positivamente a más de 9,000 beneficiarios. Estos logros contribuyen a cumplir la misión de la UVG a través de los tres pilares de la universidad: la docencia, la investigación y la extensión. También contribuyen al avance en las prioridades de la estrategia de Guatemala de Alimentos para el Futuro y de la misión de la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) en el país, puesto que a través de la transferencia de mejores prácticas agrícolas, el uso de nuevas tecnologías y la introducción de nuevas variedades se ha logrado incrementar la productividad agrícola, se han fortalecido grupos y asociaciones de productores, y se ha expandido la siembra de cultivos de mayor valor agregado. Finalmente, este proyecto ha contribuido a los objetivos estratégicos de la Política Agropecuaria guatemalteca de 1) Impulsar procesos de transformación y modernización de la agricultura que incrementen la producción, productividad y rentabilidad, mejoren la competitividad de las empresas en los mercados nacionales e internacionales, con especial énfasis en la creación y revitalización de las pequeñas y medianas unidades de producción y su integración a las cadenas agroproductivas comerciales y 2) Atender en los distintos territorios a nivel nacional a los pobladores vinculados a la agricultura, creando capacidades para mejorar sus niveles de vida a través de la extensión, capacitación y asistencia técnica, tomando como base su interculturalidad, género y participación equitativa.

La Universidad del Valle de Guatemala se fundó hace casi cincuenta años. En este período se ha consolidado como una institución académica de prestigio, reconocida nacional e internacionalmente por la excelencia de sus programas. La UVG posee el Instituto de Investigaciones más activo del país, dentro del cual actúan 10 centros de estudios enfocados en diversas áreas del conocimiento. Para la ejecución del Proyecto para el Desarrollo Agrícola UVG-USA FFP10, se conjugó el trabajo de varios centros, disciplinas y campus. Con la participación del Centro de Estudios Agrícolas y Forestales, dirigido por el Dr. Rolando Cifuentes, el Centro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, dirigido por el Dr. Ricardo Bressani, el Centro de Ingeniería Bioquímica, dirigido por el Ing. M.Sc. Carlos Rolz y el Centro de Procesos Industriales, dirigido por el Ing. M.Sc. Gamaliel Zambrano, se logró ejecutar acciones de alto impacto en el Campus Central, Campus Sur y Campus Altiplano. También se colaboró con varios departamentos como Tecnología Agroforestal de Campus Altiplano, Tecnología Agrícola y Pecuaria de Campus Sur, Nutrición, y Antropología de Campus Central. El proyecto capacitó estudiantes y catedráticos, fortaleció infraestructura y colaboró con la educación no formal que desarrolla la universidad. Este trabajo multicentro y multidisciplinario sirve de modelo para otros proyectos en UVG, ya que el trabajo en equipo y fortalecimiento de capacidades contribuye significativamente a la sostenibilidad de las acciones del proyecto. Lo aprendido y transferido vivirá a través de los distintos programas de docencia, extensión, e investigación que la UVG sostiene.

## Agradecimientos

Las alianzas que beneficiaron al proyecto y facilitaron sus impactos merecen ser mencionadas y agradecidas. A lo interno de la universidad, se tuvo un apoyo incondicional de las más altas autoridades, especialmente nuestro Rector, Lic. Roberto Moreno Godoy. Nuestras áreas administrativas como compras, administración de proyectos y administración financiera también apoyaron sostenidamente. El personal de Campus Sur, liderado por Carlos Paredes y de Campus Altiplano, liderado por Jaime Roquel, colaboraron activamente. A lo externo, logramos aliarnos con ONG's como Semillas para el Futuro, gremiales, instituciones como el INTECAP, municipalidades y oficinas departamentales de Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Fuimos apoyados constantemente por nuestro donante USDA, desde Washington a través de los especialistas de programa y en Guatemala a través del Servicio Agrícola Exterior, en especial por los Consejeros Agrícolas Henry Schmick y Robert Hoff, el agregado agrícola Barnett Sporkin-Morrison, la Especialista Agrícola Karla Tay, Especialista en Mercadeo Edith Vásquez, y la asistente Cindy Suruy.

El mayor agradecimiento lo merecen nuestros colaboradores y beneficiarios. Ambos trabajaron arduamente depositando su confianza unos en otros y en esta institución. Nuestros colaboradores dieron lo mejor de sí en días soleados y lluviosos, entre semana y en fin de semana. Los agricultores y emprendedores permitieron la mejora en sus tierras y negocios, las mujeres y líderes nos permitieron contribuir a sus aspiraciones, y los jóvenes nos permitieron facilitar su formación. Luego de tres años de trabajo, todos los actores nos encontramos satisfechos y fortalecidos, sobretudo la Universidad del Valle, quien como socio permanente de las comunidades y sectores que atiende, no se retira luego de esta intervención. La UVG sigue adelante cumpliendo su misión de docencia, investigación y extensión en sus tres Campus, confiando en que sus principales socios: colaboradores, estudiantes, donantes y miembros de la comunidad, continúen el trabajo en equipo que permite el desarrollo de Guatemala.

**Mónica Stein, PhD.**

*Decano, Instituto de Investigaciones  
Universidad del Valle de Guatemala*



# PRESENTACIÓN

Han pasado aproximadamente cinco años desde que se inició el proceso de discusión para la elaboración de la propuesta que la Universidad del Valle de Guatemala sometió a consideración del Programa de Alimentos para el Progreso (*Food for Progress Program*) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) durante la convocatoria 2010.

La generación de esa propuesta ganadora requirió muchas horas de esfuerzo y dedicación de varios equipos multidisciplinarios de la UVG. Incluyó grupos de trabajo en cada uno de sus campus (Campus Central, Campus Sur y Campus Altiplano) y la participación de profesionales de varias facultades así como de la Oficina de Desarrollo de la Universidad.

Bajo el liderazgo del Instituto de Investigaciones, la propuesta ganadora convertida en el “El Proyecto para el Desarrollo Agrícola de UVG”, inició acciones en el año 2011 y culminó en abril 2014. Se buscó llevar a cabo a) estudios de investigación aplicada en los temas de biocombustibles (biodiesel y bioetanol), el sistema Milpa de Sololá y desarrollo de productos para la alimentación humana a partir del grano de sorgo dulce, maíz, leguminosas y hierbas comestibles; b) capacitación, transferencia de tecnología y asistencia técnica; y c) creación y fortalecimiento de pequeños agro-negocios.

A fin de alcanzar los objetivos se implementó una serie de actividades (Gráficas 1, 2 y 3) en los campus de la Universidad del Valle y principalmente en comunidades de los departamentos de Escuintla y Suchitepéquez en la costa sur así como Sololá y Quiché en el Altiplano de Guatemala (Gráfica 4).

Los principales logros de cada objetivo o componente del proyecto se presentan al final de las Gráficas 1, 2 y 3. A nivel global, se contribuyó grandemente en alcanzar un incremento en la productividad y la expansión de los agro-negocios, los cuales constituyen los dos grandes retos que impulsa el Programa *Food for Progress* del USDA.

La Revista UVG destina en esta oportunidad el presente número para socializar algunas de las actividades y resultados alcanzados por el Proyecto para el Desarrollo Agrícola de UVG. Como era de esperar, debido a limitaciones de espacio no fue posible compartir todo lo que se realizó en el proyecto. Otros resultados se estarán publicando en los siguientes números de la Revista UVG.

Se presentan artículos relacionados al sistema Milpa de Sololá, biocombustibles, productos alimenticios a base del grano de sorgo y maíz, producción de hortalizas bajo protección y se cierra con un análisis sobre las experiencias relacionadas a la organización enfocada hacia la producción y el mercado.

Con relación al sistema Milpa de Sololá, se comparte la caracterización agronómica de dicho sistema y se resaltan algunos puntos de mejora para el incremento de la productividad.

Se informa sobre el establecimiento de un banco de semillas con especies que forman parte del sistema y sobre la caracterización molecular de varias accesiones de maíz nativo.

Los resultados sobre ensayos agronómicos para el incremento de la productividad del sistema se compartirán más adelante en los números regulares de la Revista UVG.

Los artículos sobre las experiencias con sorgo dulce destinado para la producción de etanol resaltan algunas variedades por su producción de biomasa y etanol. Los autores evaluaron algunas estrategias para el incremento de la productividad de biomasa y etanol.

Con relación al tema de biodiesel, se presentan los resultados sobre la emisión de gases de un vehículo alimentado con varias mezclas de biodiesel-diesel desde B<sub>5</sub> a B<sub>100</sub>. Se presenta también un mapa que integra las áreas de producción actual y potencial de cultivos que en algún momento pudieran ser utilizados como materia prima para la producción de biocombustibles. El mapa también incluye nuevas áreas para la producción de sorgo dulce, particularmente matorrales, pastizales y áreas marginales. Los autores enfatizan que el mapa se generó tomando en cuenta las áreas para seguridad alimentaria y el resguardo del ambiente (cobertura forestal y áreas protegidas).

La introducción del sorgo dulce para la producción de etanol tomó en cuenta que se trata de una especie que no es totalmente desconocida en el país, ya que la especie *Sorghum bicolor* ya sea como sorgo foto-sensitivo (criollo) o insensitivo (mejorado), es plantada en unas 30,000 hectáreas en el país. Se tomó en cuenta también el aspecto alimenticio a partir del grano para consumo humano. Esto requirió la elaboración de diferentes productos alimenticios a base del grano de sorgo, maíz y otros componentes, cuyos resultados se comparten en este número.

La innovación tecnológica por medio de estructuras de protección como invernaderos y túneles para el cultivo de hortalizas también fue impulsada. Se presenta la experiencia con la producción de tomate de invernadero y de pimientos en macro túneles. Se consideró importante realizar un análisis económico en aras de ver la rentabilidad de esa innovación tecnológica en manos de pequeños productores.

La revista cierra con el tema de organización hacia la producción y comercialización. El autor resalta experiencias únicas con cada grupo de productores con quienes realizó diferentes talleres.

Se argumenta en forma sólida la importancia de incluir este componente en los diferentes proyectos de desarrollo rural, así como la inclusión y participación de las comunidades desde la planeación inicial.



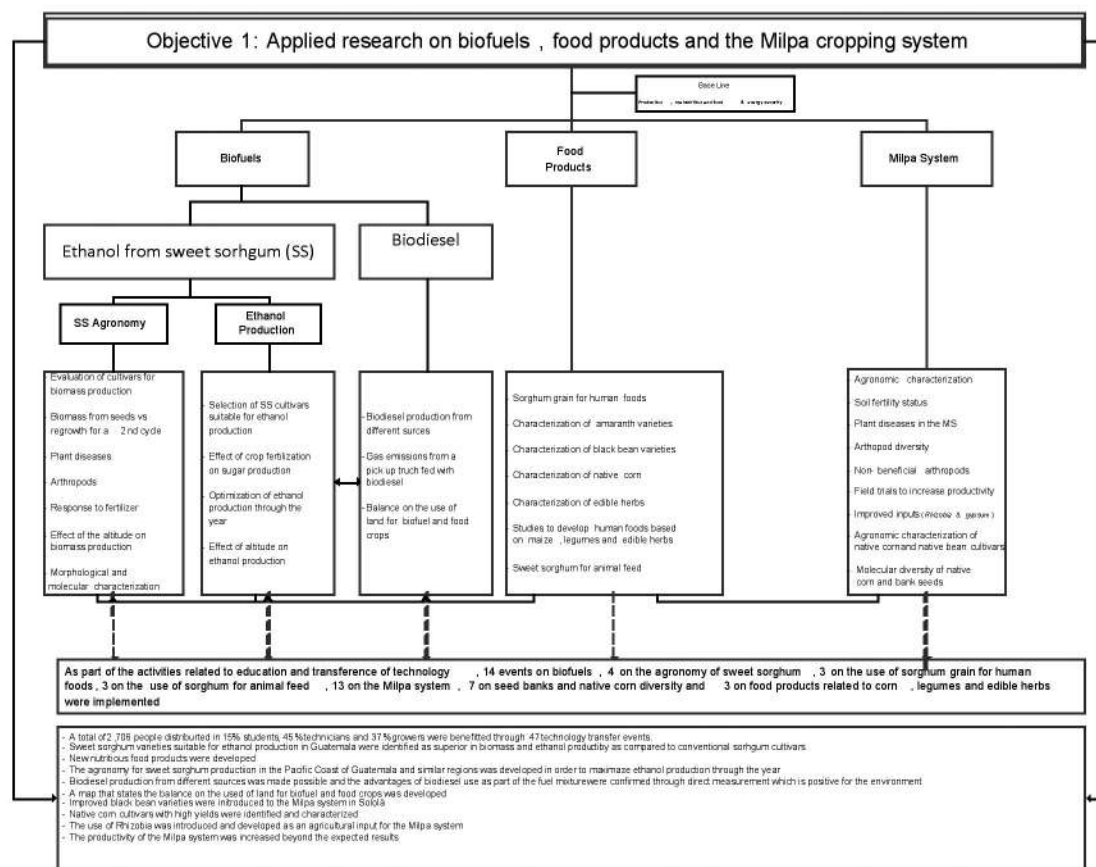
## PRESENTACIÓN

Aprovecho este espacio para resaltar el aporte del Programa *Food for Progress* del USDA, ya que sin ello el Proyecto para el Desarrollo Agrícola de UVG no hubiera sido posible. En este proyecto se benefició a más de 9,000 personas. La contribución del USDA en el desarrollo rural integral de Guatemala fue significativa.

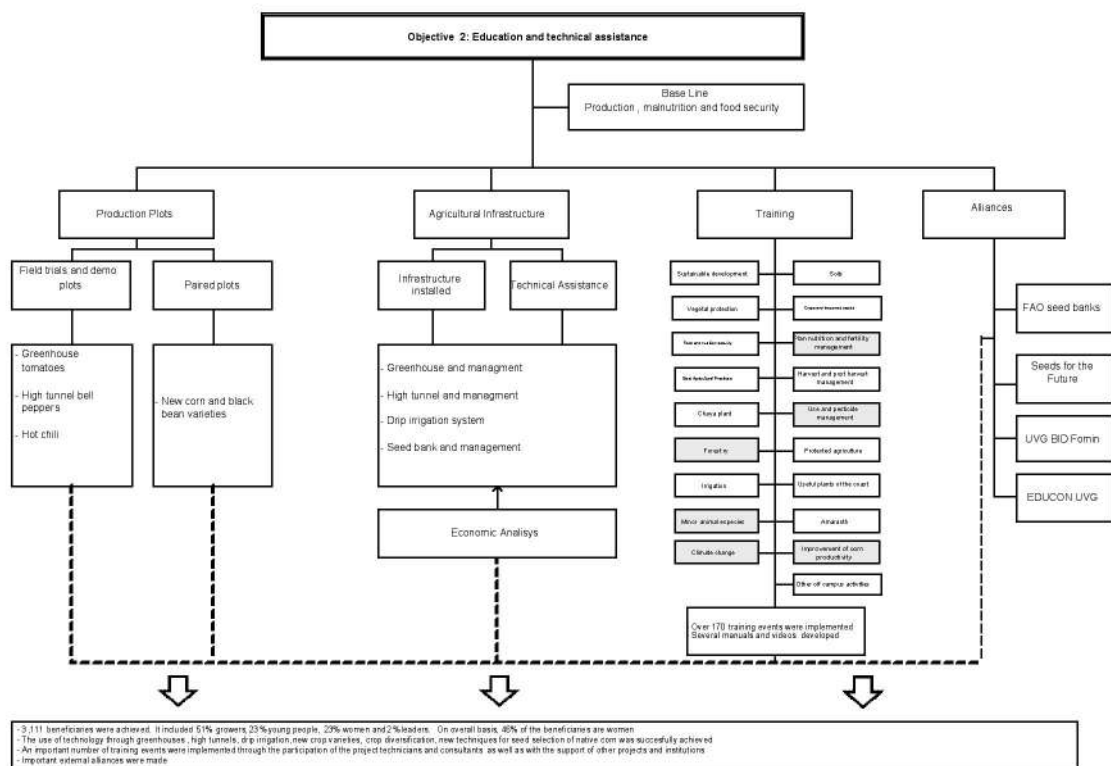
Agradezco a todos los colegas que participaron en el proyecto así como a los técnicos, personal administrativo y personal de campo, ya que el esfuerzo de cada uno de ellos hizo posible la ejecución del proyecto en el tiempo estipulado y el alcance de los objetivos planteados.

**Dr. Rolando Cifuentes**  
Investigador Principal

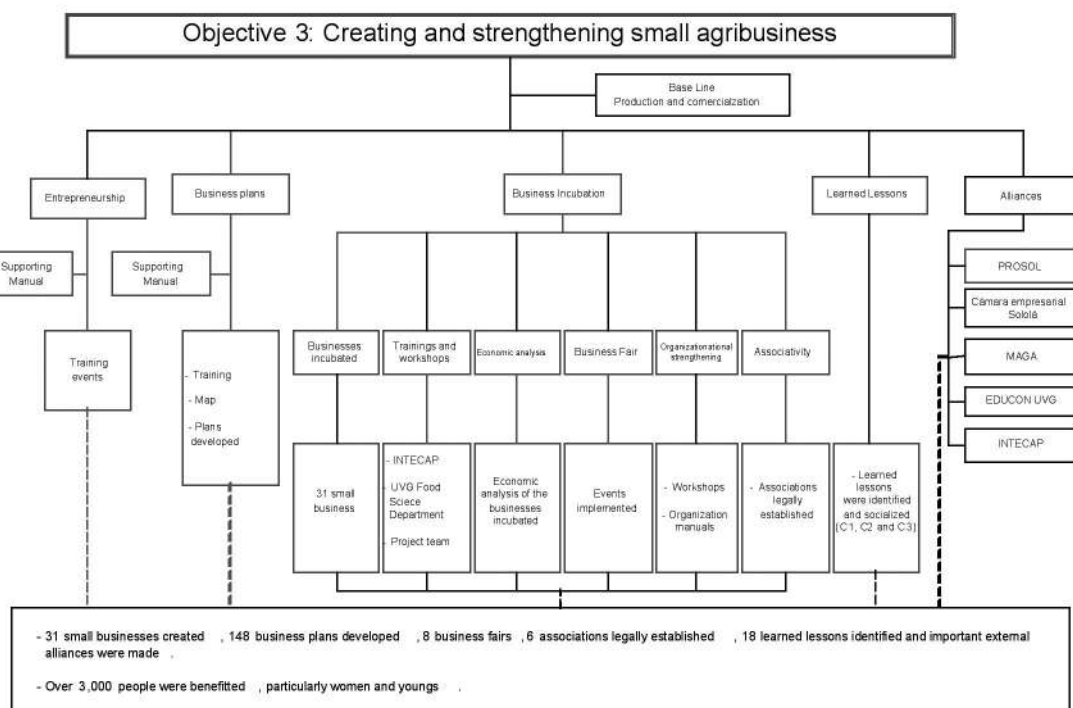
## Anexo



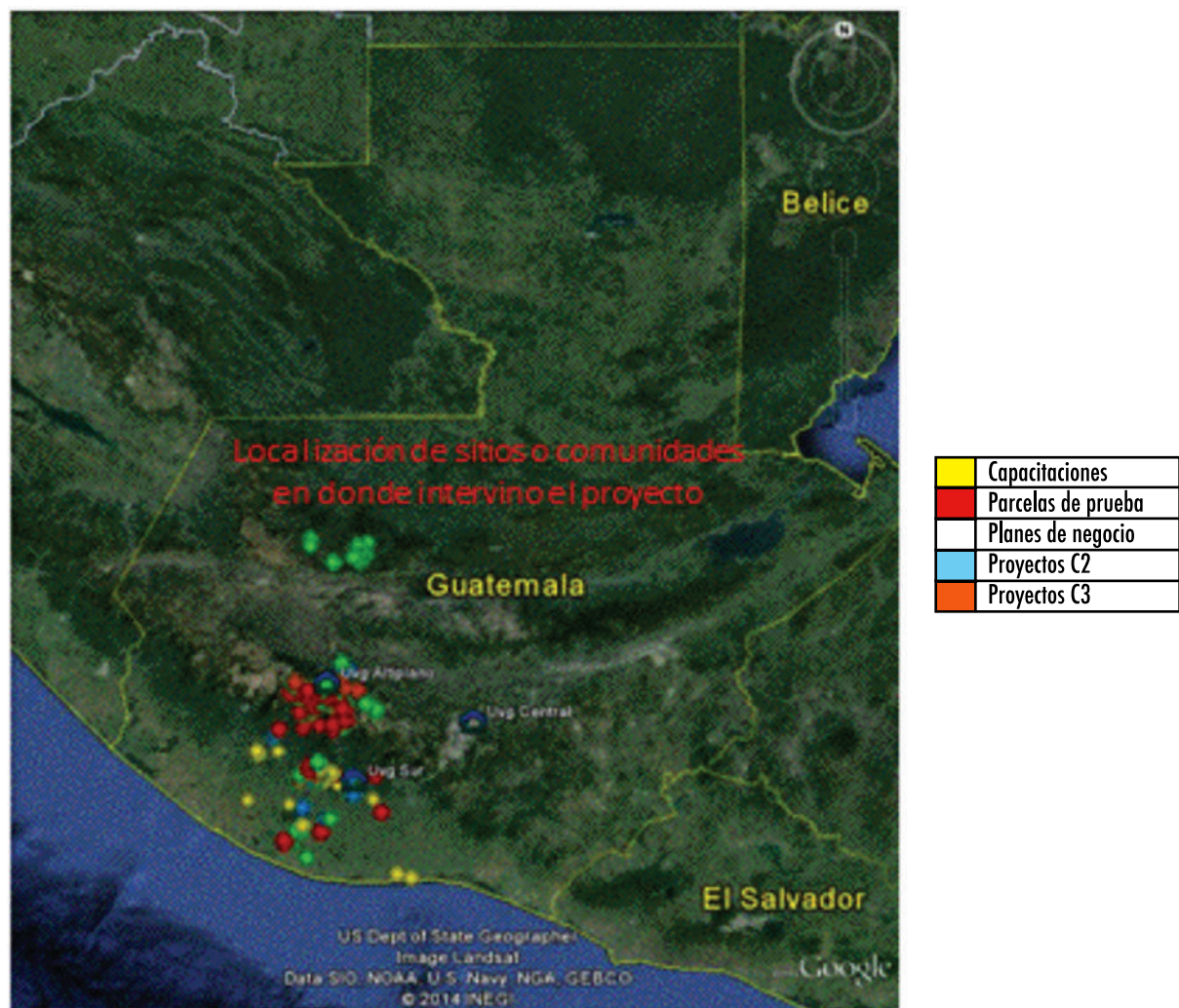
**Gráfica 1.** Estudios y actividades de transferencia de tecnología implementadas dentro del objetivo 1



Gráfica 2. Actividades de capacitación y transferencia de tecnología implementadas dentro del objetivo 2



Gráfica 3. Actividades implementadas dentro del objetivo 3



Gráfica 4. Localización de sitios o comunidades en donde intervino el proyecto



# El sistema Milpa del departamento de Sololá visto desde la experiencia y vivencia de los productores de maíz de la región

Rolando Cifuentes<sup>1</sup>, Critina Sierra<sup>1</sup>, Luis Andrés Arévalo<sup>1</sup>, Carlos Beteta<sup>1</sup>, Emerson Herrera<sup>1</sup> & María Renée Álvarez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios Agrícolas y Forestales, <sup>2</sup>Herbario UVAL, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** El estudio se llevó a cabo en 16 municipios del departamento de Sololá con la finalidad de conocer la situación actual del sistema Milpa de la región. Se realizó una entrevista a 198 productores de maíz de las etnias Quiché (41%), Cakchiquel (35%) y Tzutuhil (24%). Se determinó que el 72% del maíz es cultivado en asociación con otras especies (sistema Milpa) y que el 28% de productores maneja el maíz en monocultivo. Los sistemas de asocio identificados son maíz-frijol de enredo (M-Fe) con el 57%, maíz-frijol arbustivo (M-Fa) con 12% y maíz – otras especies (3%). Una pequeña porción de productores (9%) que utilizan los sistemas M-Fe o M-Fa también incluyen otras especies como cucúrbitas, haba, papa, coliflor o arveja. Los resultados evidencian que el sistema Milpa y la producción en monocultivo se mantienen como sistemas tradicionales ya que han tenido muy pocas innovaciones de tecnología local o externa.

Arriba del 90% de los productores de maíz y el 100% de los productores de frijol de enredo utilizan sus cultivares nativos. Las principales innovaciones incluyen el uso de fertilizantes inorgánicos, insecticidas químicos y silos para almacenamiento de granos. Existe un segmento importante de los productores que sobre dosifica la aplicación de fertilizantes, y algunos otros que hacen uso de insecticidas altamente tóxicos que son prohibidos en otros países. El estudio evidenció una fuerte necesidad de capacitar a los productores en temas relacionados al manejo de los cultivos, post-cosecha y almacenamiento así como el uso y manejo de agroquímicos. Se confirmó la importancia del bleado o amaranto (*Amaranthus* spp.), verdolaga (*Portulaca oleracea*), hierba mora o macuy (*Solanum nigrescens*), hoja blanca (*Brassica* cf. *napus* var. *napobrassica*), cucúrbitas (*C. ficifolia*, *C. pepo* y *C. argyrosperma*) y miltomate (*Physallis philadelphica*) como especies importantes para el consumo humano que forman parte del sistema Milpa. Las primeras cuatro especies son parte del complejo de malezas en los sitios plantados con maíz y las dos últimos son especies cultivadas. Existen pocos elementos del manejo de los cultivos vinculados a grupos étnicos específicos. Se presume que el manejo está más vinculado a la ubicación geográfica de los sitios de producción por su relación con el clima, el tipo de germoplasma que utilizan así como la influencia generalizada del entorno cultural de cada municipio. Los resultados de este estudio pueden ser de utilidad para identificar puntos de intervención en investigación aplicada, capacitación y transferencia de tecnología a fin de mejorar la productividad del sistema Milpa y preservar los recursos nativos de la región por el fenómeno del cambio climático y el resguardo de la seguridad alimentaria nutricional.

**PALABRAS CLAVE:** maíz, frijol, Milpa, cucúrbitas, hierbas comestibles, *Physallis philadelphica*.

## The Solola Milpa System seen from the experience and expertise of the corn producers of the region

**ABSTRACT:** The study was carried out in 16 municipalities of the department of Solola to know the current status of the Milpa cropping system in the region. A face to face survey with 198 corn producers of the ethnic groups Quiché (41%), Cakchiquel (35%) y Tzutuhil (24%) was implemented. Seventy two percent of the producers use an intercropping system (Milpa system) and 28% produces corn in monoculture. The intercropping systems identified include corn and climbing beans (M-Fe) with 57%, corn and type II beans (M-Fa) with 12% and corn intercropped with other plant species (3%). A small portion of the producers (9%) that intercrop corn and beans also include some cucurbita species, faba beans, potatoes, cauliflower or peas as part of the cropping system. The Milpa cropping system and the monoculture of corn remain as traditional systems since very few local or external innovations have been implemented through time. Over 90% of the corn producers and 100% of the climbing bean producers relies on their native cultivars. The main innovations include the use of inorganic fertilizer, chemical insecticides and silos to store grains. An important segment of the producers use an overdose of fertilizers and use some highly toxic chemical insecticides that have been prohibited in other countries. The study evidenced a great need for training on subjects related to the plant species management that constitute the system, postharvest management and storage as well as use and management of agrochemicals. The importance of the species *Amaranthus* spp., *Portulaca oleracea*, *Solanum nigrescens*, *Brassica* cf. *napus* var. *napobrassica*, *Cucurbita ficifolia*, *Cucurbita pepo*, *Cucurbita argyrosperma* and *Physallis philadelphica* that form part of the Milpa cropping system was confirmed as useful plants for human consumption. The first four species are part of the weed complex and the remaining two are cultivated. There are very few elements of the cropping system linked to specific ethnic groups. It is considered that the management of the system is more related to the location of the cropping site because of its relation with the weather, the germplasm type as well as the generalized influence of the inhabitants of each municipality. The results of this study could be used in the identification of some points for intervention in applied research, training and technology transference with the aim of increasing productivity of the system as well as to preserve the native resources of the region due to the climate change phenomenon and food and nutrition security.

**KEYWORDS:** corn, beans, Milpa, cucurbitas, edible herbs, *Physallis philadelphica*.

## Introducción

La base de la alimentación de la mayor parte de la población guatemalteca es el maíz y el frijol. Estos dos granos cobran especial relevancia en el área rural del país, en donde 3 de cada 4 guatemaltecos viven en pobreza o en pobreza extrema (INE-BM, 2011), lo cual limita grandemente la calidad de su dieta alimenticia y los hace vulnerables a problemas de malnutrición. En el área rural, el frijol constituye la principal fuente de proteína (Aldana, 2010) y el maíz la principal fuente energético con un complemento proteico (Fuentes et al, 2005).

La importancia del maíz y del frijol en nuestro medio está validada por el área de siembra que ocupan. En Guatemala se siembran entre 700 a 900 mil hectáreas de maíz y aproximadamente 230 mil hectáreas de frijol, con un rendimiento aproximado de 2 y 0.8 t/ha para cada cultivo, respectivamente (MAGA, 2011). El consumo per cápita de estos granos en la población adulta del área rural se estima en 306 g de maíz (Fuentes et al., 2005) y 58 g de frijol por día (Aldana, 2010).

El maíz y el frijol en Guatemala, como en el resto de Mesoamérica, son cultivados como parte de lo que conocemos como sistema Milpa, término que en lengua náhuatl significa 'campo recién limpiado' (FAO, 2007). El sistema ha sido desarrollado por los diferentes grupos étnicos que forman parte de la población indígena a lo largo de muchas generaciones.

La base del sistema es el maíz (Gráfica 1), el cual de acuerdo a FAO (2007) es asociado con cultivos como frijol, haba, cucúrbitas, árboles forestales o frutales, plantas alimenticias y plantas medicinales. Algunas de las especies son plantadas como relevo de otras especies de ciclo corto (Ruano y Juárez, 2008).

El sistema Milpa ha jugado un papel importante en la conservación de las especies nativas, así como en la diversificación de los alimentos para la familia rural. Como parte del centro de origen de muchas especies en Mesoamérica, Guatemala cuenta con una alta diversidad de especies nativas de maíz y frijol así como de cucúrbitas, hierbas comestibles y tomate, ver Gráfica 1 (Azurdia et al., 2011).

Muchas especies nativas incluidas en el sistema no son cultivadas, como es el caso de las hierbas comestibles, las cuales de acuerdo con Azurdia et al. (2011) crecen como parte del complejo de malezas y están ampliamente distribuidas en el Altiplano de Guatemala. La importancia nutricional de las hierbas comestibles en la dieta ha sido resaltada en distintos foros por expertos en nutrición humana (Bressani, 2012; Bressani, 2013).

En nuestro medio existen pocos estudios sobre los cultivos de maíz y frijol como parte integral de un sistema más amplio que incluya otras especies. En el caso particular del Altiplano de Guatemala, es ampliamente conocida la variedad de colores de maíz y frijol así como el tradicional consumo de hierbas, lo cual nos indica la diversidad genética de especies vegetales nativas de esa región.

Debido a que las diferentes especies incluidas como parte del sistema Milpa juegan un rol importante en la seguridad alimentaria nutricional del país, incluyendo el Altiplano de Guatemala, es necesario estudiar dicho sistema. Se debe procurar alcanzar una mejor productividad para dar respuesta a la creciente demanda de alimentos como resultado del incremento poblacional, así como asegurar la existencia de alimento al prevenir problemas de origen biótico o abiótico que sean una amenaza para la producción. Esto último incluye la adaptación del sistema Milpa al fenómeno del cambio climático (ICC, 2013) manifestado por eventos extremos de sequía, lluvia, vientos, heladas y granizo entre otros; así como su efecto con la proliferación de plagas y enfermedades que reducen la producción de cultivos.

El presente estudio se realizó en el departamento de Sololá en el cual coexisten varios grupos étnicos, a fin de conocer la visión de los productores de maíz en cuando al manejo de los cultivos inmersos en el sistema, incluyendo la parte de post-cosecha y almacenamiento. Se buscaba identificar algunos puntos de intervención a futuro a fin de conservar los recursos naturales y mejorar la productividad del sistema de producción.



Gráfica 1. Ejemplo de la combinación de especies dentro del concepto de sistema Milpa.

## Metodología

El estudio se realizó en los años 2011 – 2012 mediante una encuesta a 198 productores de maíz provenientes de 16 municipios del departamento de Sololá, ver Gráfica 2. La boleta incluyó a) el proceso agronómico de producción, desde la selección de la semilla en el campo a la cosecha, b) el manejo de post-cosecha, c) destino de la producción y d) las plantas comestibles presentes en los sitios de producción (n = 22).

Previo a proceder con las entrevistas a los productores, la boleta fue validada mediante la entrevista a 4 agricultores de la región.

Se realizaron las enmiendas respectivas y posteriormente se procedió con el trabajo de campo.

Para la convocatoria se contó con el apoyo de técnicos de UVG, técnicos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación – MAGA – y de técnicos de la oficina de la Organización para la Agricultura y la Alimentación – FAO (por sus siglas en Inglés) con sede en Sololá, quienes nos vincularon con algunos líderes de la región. Una vez contactados, los líderes procedieron a realizar la convocatoria a productores de maíz de sus respectivas comunidades. Se les solicitó que el día de la entrevista llevaran una muestra de semilla de maíz y de frijol, a fin de ingresarlas posteriormente a un banco de semillas que se está estableciendo en las instalaciones de UVG Altiplano en Sololá.

Una vez reunidos en el punto de encuentro, se les explicó el propósito de la entrevista. Posteriormente se procedió a dialogar con cada uno de ellos a fin de recopilar la información. Tomando en cuenta que algunos agricultores únicamente hablaban lenguas Mayas, se utilizó un traductor colaborador del proyecto. Para la tabulación de resultados se usó la herramienta en línea Google Forms. Una vez se contó con toda la información digitalizada, la base de datos se exportó a un documento de Excel, el cual permitió agrupar los datos mediante diagramas de frecuencia.

## Resultados

### • Características de los productores

Todos los productores encuestados son indígenas. El 41% pertenece a la etnia Quiché, el 35% a la etnia Cakchiquel y el 24% a la etnia Tzutuhil. La mitad de los entrevistados son hombres y la otra mitad mujeres. La distribución de los diferentes entrevistados según lugar de procedencia se presenta en el Cuadro 1A del anexo.

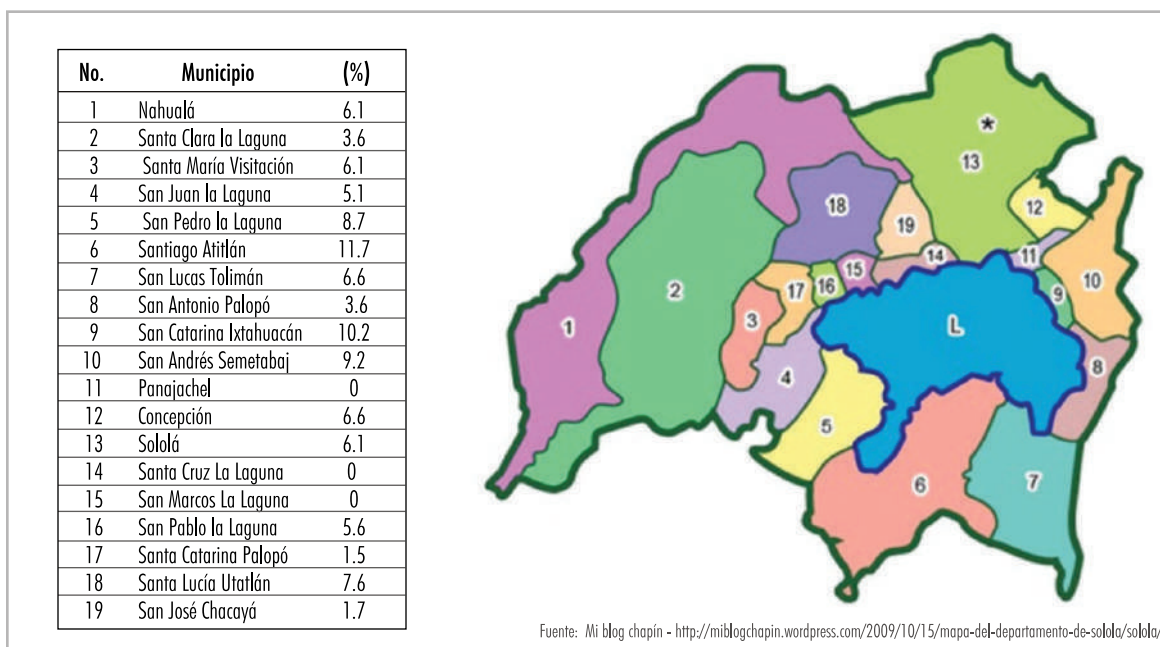
El 88% de los hombres reportó la agricultura como su ocupación principal, en tanto que las mujeres combinan sus actividades de amas de casa con la producción agrícola. El 98% indicó hablar un solo idioma Maya en tanto que el 2% habla más de un idioma Maya. El 33% reportó ser analfabeta y el 67% sabe leer y escribir. El grupo con mayor porcentaje de analfabetas fue el grupo Tzutuhil con 50%. De las personas alfabetizadas, el 77% cursó por lo menos un grado a nivel primario, en tanto que el 23% reportó haber cursado por lo menos un grado a nivel básico o de diversificado.

El tamaño medio de la unidad de producción es de 0.23 hectáreas (3.3 cuerdas de 32 x 32 varas (v) (1 vara = 0.83 m), lo cual los califica como productores de subsistencia.

### • Unidades de Medida

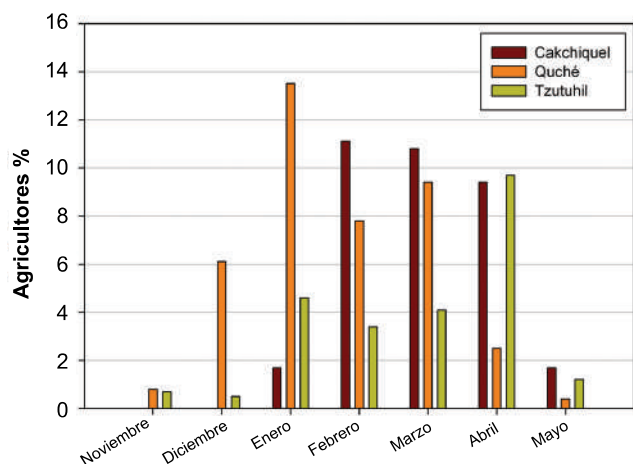
#### De Superficie

La medida de superficie reportada por el 100% de productores es la cuerda. Se determinaron 11 diferentes medidas, desde 18 x 18 hasta 40 x 40 v, ver Cuadro 2A del anexo. Independientemente del grupo étnico y del municipio de procedencia, la mayor parte de productores utiliza la cuerda de 32 x 32 v (705.4 m<sup>2</sup>).



**Gráfica 2.** Distribución (%) de los productores que participaron en el estudio según municipio de procedencia (n=198)





**Gráfica 3.** Distribución de las épocas de preparación del suelo para la siembra de maíz y frijol según el grupo étnico.

### De Rendimiento

A nivel de campo, la medida de rendimiento comúnmente utilizada son las redes o costales (100 – 120 lbs de mazorcas con o sin tuza). Una vez secado y desgranado el maíz, llegan a obtener aproximadamente 75 – 80 lbs de grano. Las medidas de masa en la región son la libra, la arroba (25 lbs) y el quintal (100 lbs).

### • Preparación del suelo

Las fechas para la preparación del suelo varían grandemente entre grupos étnicos y municipios. A nivel departamental, la ventana de tiempo identificada para la preparación del suelo va de noviembre a mayo, con una mayor frecuencia en los meses de enero – abril, como puede observarse en la Gráfica 3 y el Cuadro 3A del anexo.

La mayor parte de productores de origen Cakchiquel preparan el suelo entre los meses de febrero y abril, los de origen Quiché entre diciembre y marzo y los de origen Tzutuhil de enero a abril, pero con mayor preferencia en el último mes.

Los municipios ubicados a menor altitud (San Lucas Tolimán, Santiago Atitlán, San Antonio Palopó y San Juan la Laguna) tienden a realizar la preparación del suelo con mayor frecuencia en los meses de marzo – abril, en tanto que los municipios ubicados a mayor altitud (Nahualá, San José Chacayá, Santa Catarina Ixtahuacán, Santa Clara la Laguna, Santa Lucía Utatlán y Sololá) realizan dicha labor con mayor frecuencia entre diciembre y febrero. El resto de municipios están entre febrero – abril (Cuadro 3A del anexo). (Gráfica 3).

Independientemente del grupo étnico y del lugar de procedencia, la preparación del suelo consiste en el picado o volteo (51%) a una profundidad de aproximadamente 25 cm, picado y elaboración de camellones de siembra (11%) o simplemente la



**Gráfica 4.** Panorámica de un cerco construido con cañas de maíz en Sololá

elaboración de los camellones (28%) El 10% restante realiza únicamente un raspado.

Con relación al manejo de los residuos (tallo y hojas) de la cosecha anterior, un pequeño porcentaje utiliza parte de la caña de maíz para realizar construcciones sencillas, como la que se observa en la Gráfica 4, y otros utilizan parte del material para alimentación de animales.

Del material que queda en el campo, el 67% de productores, independientemente del grupo étnico, incorpora los restos de tallos y hojas, el 14% lo quema e incorpora las cenizas, el 11% simplemente lo quema, 6 % lo deja sobre la superficie sin incorporar y el 1% los saca del campo de cultivo.

El manejo de la tuza del maíz es similar entre los tres grupos étnicos. El 38% las incorpora al suelo, el 28% las utiliza para la elaboración de tamales, 24% para alimentación de animales, el 6% las deja sobre la superficie, el 5% la quema con o sin incorporación de las cenizas y el 1% las saca del terreno.

### • Especies cultivadas que forman parte del sistema de producción

Las especies de plantas incluidas como parte de los sistemas de producción a base de maíz en Sololá se presentan en el Cuadro 1. Independientemente del grupo étnico, prevalece la asociación maíz - frijol de enredo (M-Fe) con el 47% así como el maíz en monocultivo (28%). Al sistema M-Fe, un 10% también incluye otros cultivos como frijol arbustivo (Fa), haba, cucúrbitas y otros.

El frijol arbustivo es utilizado junto al maíz por el 12 % de productores.

El sistema M-Fe predomina en 12 municipios; en tanto que hay 3 municipios en los cuales predomina la siembra de maíz en monocultivo (Cuadro 4A del anexo).

**Cuadro 1.** Distribución (%) de las especies cultivadas con el maíz según el grupo étnico (n = 198)

| Sistema de Cultivo                | Grupo Etnico |           |           | Promedio  |
|-----------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                                   | Cakchiquel   | Quiché    | Tzutuhil  |           |
| <b>Maíz (M) en monocultivo</b>    | <b>24</b>    | <b>25</b> | <b>34</b> | <b>28</b> |
| <b>M - Fe</b>                     | <b>44</b>    | <b>53</b> | <b>44</b> | <b>47</b> |
| <b>M - Fe - Fa</b>                | <b>5</b>     | <b>1</b>  | <b>-</b>  | <b>2</b>  |
| <b>M - Fe - Fa + otro cultivo</b> | <b>4</b>     | <b>-</b>  | <b>-</b>  | <b>1</b>  |
| M-Fe-Fa - Cucurbitas              | 2            | -         | -         |           |
| M-Fe-Fa - Haba                    | 2            | -         | -         |           |
| <b>M - Fe +otro cultivo</b>       | <b>12</b>    | <b>7</b>  | <b>3</b>  | <b>7</b>  |
| M-Fe-Cucurbitas                   | 7            | 2         | -         |           |
| M-Fe-haba                         | 3            | 4         | -         |           |
| M-Fe-Papa                         | -            | 1         | -         |           |
| M-Fe-Yuca                         | -            | -         | 3         |           |
| M-Fe-Cucurbitas-Haba              | 2            | -         | -         |           |
| <b>M - Fa</b>                     | <b>8</b>     | <b>5</b>  | <b>19</b> | <b>11</b> |
| <b>M - Fa - otro cultivo</b>      | <b>3</b>     | <b>-</b>  | <b>-</b>  | <b>1</b>  |
| M - Fa - Cucurbitas               | 3            | -         | -         |           |
| <b>M - otro cultivo</b>           | <b>-</b>     | <b>9</b>  | <b>-</b>  | <b>3</b>  |
| Maíz -Arveja - Coliflor - Papa    | -            | 1         | -         |           |
| Maíz - Haba                       | -            | 7         | -         |           |
| Maíz - Haba - Cucurbitas          | -            | 1         | -         |           |

## • Origen de la semilla

### Maíz

El 94% de los productores utiliza semilla de maíz nativo. El 6 % que utiliza semilla mejorada lo hace con maíces para baja altitud (H-3, H-5 e ICTA HB-83). Los dos primeros son híbridos de origen salvadoreño y el tercero es un híbrido desarrollado a nivel local en el año 1983.

A nivel departamental prevalecen los colores de grano amarillo (17%), blanco (21%), amarillo-blanco (40%) y amarillo-blanco-negro (15%). Una minoría de productores siembra maíz de grano negro (Cuadro 5A del anexo). El maíz de color amarillo y blanco está presente en todos los municipios incluidos en el estudio. Aunque no existe preferencia absoluta de un color sobre otro, la mayor parte de productores de origen Cakchiquel y Quiché cuentan con maíz de color blanco y amarillo, en tanto que la mayor parte de productores Tzutuhiles cuentan principalmente con maíz de grano blanco (Cuadro 6A del anexo).



**Gráfica 5.** Panorámica de la principal forma de mantener la semilla de maíz en Sololá

El 89% de los productores selecciona su propia semilla de la cosecha anterior. Sobresale que el 22% de los productores cuenta con su semilla desde hace más de 50 años y que el 26% tiene menos de 10 años de tenerla. Como parte del proceso de selección, los productores toman en cuenta varios atributos como tamaño de mazorca (65%), llenado de mazorca (20%), sanidad del grano (12%), color del grano (2%) y precocidad de las plantas (1%). La semilla es almacenada durante aproximadamente 3 – 6 meses, utilizando diferentes formas de almacenamiento (Cuadro 7A del anexo). Prevalecen las mazorcas colgadas en un ambiente de la casa como principal forma de almacenamiento de la semilla, como se observa en la Gráfica 5.

### Frijol de enredo

El 100% del frijol de enredo que utilizan los productores es frijol nativo. Incluye *Phaseolus vulgaris* y *Phaseolus coccineus*. Al igual que el maíz, los agricultores que siembran frijol de enredo generan su propia semilla la cual almacenan en sacos, ya sea en grano o en vaina. En el caso de frijol, no siguen un proceso de selección de semilla similar al maíz. Llegada la fecha de la siembra, simplemente seleccionan los mejores granos del producto almacenado.

## • Épocas de siembra

Las fechas de siembra van de febrero a mayo. Cinco por ciento siembra en febrero, 36% en marzo, 17% de abril y el 42% en mayo. La mayor parte de Quichés (70%) reportó sembrar en el mes de marzo, en tanto que el 65% Cakchiquel y el 50% de Tzutuhil lo hacen en el mes de mayo (Cuadro 8A del anexo). La siembra del frijol trepador usualmente la hacen al mismo tiempo que el maíz. La distribución de épocas de siembra a nivel de municipio se presenta en el (Cuadro 9A del anexo). Sobresale la siembra en los meses de marzo y mayo.

## • Manejo Agronómico

### Densidad de siembra

La cantidad de semillas de maíz plantadas en cada postura varía de 3 a 6. Un 47% de los productores utiliza 5 semillas por postura de maíz. En el caso del frijol trepador, prevalece el uso de dos semillas de frijol por postura o bien dos semillas en posturas alternas de maíz. Prevalecen las densidades de 50 – 75 mil plantas por hectárea (p/ha) para maíz y en el caso del frijol, de 12 a 36 mil p/ha dependiendo del grupo étnico (Cuadro 10A del anexo).

El 97% de los productores no realiza ningún tratamiento para plagas del suelo antes de la siembra. El 3% que si lo hace, aplica *Phoxim* (insecticida organofosforado de etiqueta verde, n.c. Volatón).

### Control de malezas

El control de malezas se realiza principalmente en dos (36%) o tres momentos (42%). El resto reporta realizar una (20%) o bien 4 (2%) limpias. La primera limpia se lleva a cabo entre los meses de mayo (27%) y junio (50%), la segunda limpia entre junio y septiembre, siendo lo modal (39%) en el mes de julio, y la tercera limpia se concentra en los meses de agosto (47%) y septiembre (27%). No existe una única época para la realización de la calza del cultivo, ya que varía desde junio – septiembre y coincide muchas veces con la segunda limpia. La mayor parte de productores de origen Cakchiquel (47%) y Tzutuhil (57%) realizan 3 limpias en tanto que la mayor parte de productores de origen Quiché (47%) realizan únicamente 2.

### Fertilización

El 99.5% de los productores realiza la práctica de la fertilización. El 76% utiliza fertilizante químico, el 22 % una mezcla de químico y orgánico y únicamente el 2% utilizan fertilizantes orgánicos. Estos últimos no realizan aplicaciones adicionales de fertilizante inorgánico. La preferencia sobre la forma de fertilizar es independiente del grupo étnico. El abono orgánico utilizado incluye estiércol o compost (63%), gallinaza deshidratada (27%) y broza (10%). La aplicación la llevan a cabo durante la preparación del suelo.

Aunque el 20% de productores reporta realizar hasta tres fertilizaciones, la mayoría aplica fertilizante de una (30%) a dos (50%) veces después de la siembra. La primera fertilización la realizan de mayo a julio, siendo junio la aplicación más frecuente (51%). La segunda fertilización la realizan de julio a septiembre, siendo agosto el mes mas reportado (32%). Quienes realizan una tercera fertilización usualmente la llevan a cabo entre agosto (33%) y septiembre (36%). El fertilizante más utilizado en las diferentes aplicaciones es la fórmula 20-20-0, ver Cuadro 2.

La cantidad de fertilizante que utilizan es variable (< 200 a > 800 kg/ha/aplicación), prevaleciendo el rango de 200 a 400 kg/ha/aplicación (Cuadro 11A del anexo).

### Control de plagas y enfermedades

La mayor parte de productores reporta tener algunos problemas de artrópodos (insectos y ácaros) en maíz y frijol, ver Cuadro 3. Para el cultivo del maíz mencionan que el cogollero (*Spodoptera*

**Cuadro 2.** Distribución (%) de las fórmulas de fertilizante utilizadas según etnia (n=198)

| Primera Fertilización |                       |        |          |          |
|-----------------------|-----------------------|--------|----------|----------|
| Fórmula               | Grupo Etnico          |        |          | Promedio |
|                       | Cakchiquel            | Quiché | Tzutuhil |          |
|                       | Primera Fertilización |        |          |          |
| 15-15-15              | 22                    | 4      | 3        | 10       |
| 20-20-0               | 54                    | 87     | 77       | 72       |
| 20-20-0 + 15-15-15    | 5                     | 1      | 2        | 3        |
| 20-20-0 + 46-0-0      | 7                     | 5      | 7        | 6        |
| 21-0-0                | -                     | 1      | 2        | 1        |
| 46-0-0                | 12                    | 2      | 9        | 8        |
| Segunda Fertilización |                       |        |          |          |
| 15-15-15              | 18                    | 13     | 3        | 11       |
| 20-20-0               | 67                    | 85     | 79       | 77       |
| 20-20-0 + 15-15-15    | 3                     | -      | -        | 1        |
| 20-20-0 + 21-0-0      | 3                     | -      | 2        | 2        |
| 20-20-0 + 46-0-0      | 6                     | 2      | 6        | 5        |
| 46-0-0                | 3                     | -      | 10       | 4        |
| Tercera Fertilización |                       |        |          |          |
| 15-15-15              | 10                    | -      | 6        | 5        |
| 15-15-15 + 46-0-0     | 10                    | -      | -        | 3        |
| 20-20-0               | 71                    | 80     | 94       | 82       |
| 20-20-0 + 46-0-0      | 9                     | -      | -        | 3        |
| 46-0-0                | -                     | 20     | -        | 7        |

*frugiperda*), la gallina ciega (*Phyllophaga* spp.), gusano alambre (*Agrotis* spp) y gusano nochera (*Agrotis* spp) son las más importantes. Mientras que en frijol reportan a las tortuguillas (*Diabrotica balteata* y *Diphaulaca wagneri*), pulgones o áfidos (*Aphis* spp.) y mosca blanca (*Bemisia* sp. y *Trialeurodes* sp.).

Como parte de los mecanismos de control de artrópodos utilizan tanto métodos químicos como culturales (Cuadro 12A del anexo).

Sobresale el uso de pesticidas particularmente *Phoxim* (n.c. Volatón), *metyl paration* (n.c. folidol) y *malation* (n.c. malation). El primero orientado al control de gallina ciega y cogollero y los dos restantes para insectos masticadores en frijol. Los métodos de control cultural son variables y van desde el uso de espantapájaros hasta el uso de espejos. La mayor parte están orientadas al control de plagas en maíz. Aproximadamente el 80% de los productores no reporta enfermedades en maíz y frijol. Las principales enfermedades reportadas en maíz incluyen mal del talluelo, malformación, argeño y tizón. En el caso del frijol se mencionan cenicilla, roya, mosaico, pudrición y tizón, como se muestra en el Cuadro 4. La totalidad de entrevistados no reportó realizar el control de enfermedades.



**Cuadro 3.** Prevalencia (%) de plagas de artrópodos según etnia (n=198)

| Presencia de Plagas                | Grupo Etnico     |        |          | Promedio |
|------------------------------------|------------------|--------|----------|----------|
|                                    | Cakchiquel       | Quiché | Tzutuhil |          |
|                                    | Plagas en Maíz   |        |          |          |
| No tiene o no sabe si tiene plagas | 13               | 11     | 40       | 21.3     |
| Reporta plagas                     | 87               | 89     | 60       | 78.7     |
| Ardilla                            | 2                | 1      | 1        | 1.3      |
| Aves                               | 6                | 5      | 3        | 4.7      |
| Gallina ciega                      | 18               | 14     | 11       | 14.3     |
| Gusano alambre                     | 11               | 16     | 7        | 11.3     |
| Otros gusanos                      | 13               | 3      | 3        | 6.3      |
| Gusano cogollero                   | 27               | 25     | 17       | 23.0     |
| Gusano nochero                     | 6                | 21     | 3        | 10.0     |
| Hormiga grande                     | 0                | 0      | 1        | 0.3      |
| Mapache                            | 0                | 0      | 1        | 0.3      |
| Ratones                            | 2                | 1      | 7        | 3.3      |
| Taltuza                            | 2                | 3      | 6        | 3.7      |
|                                    | Plagas en frijol |        |          |          |
| No tiene o no sabe si tiene plagas | 47               | 37     | 68       | 50.7     |
| Reporta plagas                     | 53               | 63     | 32       | 49.3     |
| Áfidos o pulgones                  | 7                | 19     | 7        | 11.0     |
| Chicharritas o tortuguilla         | 20               | 15     | 4        | 13.0     |
| Gorgojo                            | 0                | 4      | 0        | 1.3      |
| Otros gusanos                      | 7                | 4      | 4        | 5.0      |
| Mosca blanca                       | 19               | 21     | 13       | 17.7     |
| Mosquito verde                     | 0                | 0      | 4        | 1.3      |

### Uso y manejo de plaguicidas

La fuente de recomendación utilizada para los plaguicidas proviene de su propia experiencia (37%), de la casa comercial (37%) y de sus vecinos (23%). Únicamente el 3% reporta haber obtenido la recomendación de un técnico agrícola. El 79% no utiliza equipo de protección durante la aplicación de los plaguicidas. Del 21% que si lo utiliza, el 31% utiliza lentes, guantes y mascarilla, en tanto que el 69% restante utiliza uno o dos de dichos implementos. Ninguno de los entrevistados reporta el uso de overol.

El 88% reporta guardar los plaguicidas ya sea en una bodega, troja o fuera de la casa. Los recipientes o envases son desechados ya sea quemándolos (37%), dejándolos en el campo (27%), depositándolo en un basurero (26%), reciclándolos (6%) o arrojándolos al barranco (3%). El equipo de aspersión es lavado en el campo (61%), el lago o río (20%), en la casa (13%) o bien en una cama biológica (6%).

El 93% nunca ha recibido capacitación sobre uso y manejo de plaguicidas. Los pocos que si han sido capacitados mencionan varias instituciones entre las que están Agrequima, ANACAFE,

**Cuadro 4.** Prevalencia (%) de enfermedades según etnia (n=198)

| Presencia de                  | Grupo Etnico           |        |          | Promedio |
|-------------------------------|------------------------|--------|----------|----------|
| Enfermedades                  | Cakchiquel             | Quiché | Tzutuhil |          |
|                               | Enfermedades en Maíz   |        |          |          |
| No sabe si tiene enfermedades | 80                     | 73     | 94       | 82       |
| Reporta enfermedades          | 20                     | 27     | 6        | 18       |
| Argeño                        | 5                      | 2      | 2        | 3.0      |
| Hojas moradas                 | 1                      | 2      | 1        | 1.3      |
| Mal del talluelo              | 0                      | 3      | 0        | 1.0      |
| Mal formación                 | 0                      | 3      | 2        | 1.7      |
| Pudrición                     | 2                      | 3      | 0        | 1.7      |
| Tizón                         | 12                     | 14     | 1        | 9        |
|                               | Enfermedades en frijol |        |          |          |
| No sabe si tiene enfermedades | 73                     | 71     | 97       | 80       |
| Reporta enfermedades          | 27                     | 29     | 3        | 20       |
| Cenicilla                     | 6                      | 0      | 0        | 2.0      |
| Mal formación                 | 0                      | 4      | 3        | 2.3      |
| Mosaico                       | 3                      | 4      | 0        | 2.3      |
| Pudrición                     | 3                      | 3      | 0        | 2.0      |
| Roya                          | 0                      | 4      | 0        | 1.3      |
| Tizón                         | 15                     | 14     | 0        | 9.7      |

agroexportadoras, Cuerpo de Paz y proyectos. Únicamente el 4% reporta conocer casos de intoxicación por plaguicidas.

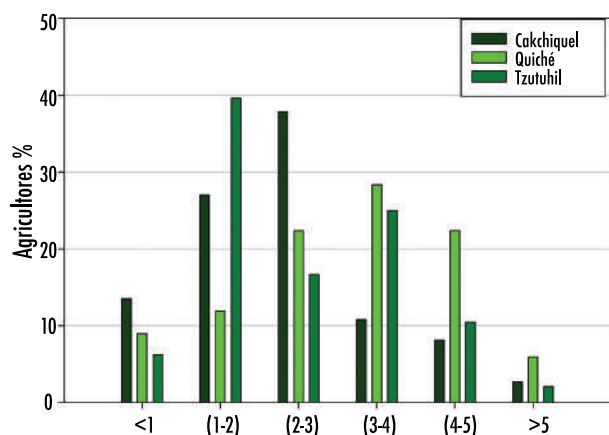
### • Productividad

La producción de maíz y frijol es altamente variable, como se observa en las Gráficas 6 y 7. El rendimiento de maíz oscila entre menos de 1 a más de 5 toneladas (Mg) por hectárea. El 71% de los productores reporta rendimientos entre 1 a 4 Mg/ha. El 71% de los productores reporta rendimientos de frijol menores a 0.5 Mg/ha.

### • Cosecha y manejo post-cosecha

El 71% de los productores reportó realizar la práctica de la dobla de la caña de maíz. La principales razones indicadas para realizar dicha actividad incluyeron el promover la madurez y el secado así como reducir pudriciones, daño por vientos y daño por pájaros.

La cosecha de maíz se lleva a cabo principalmente entre los meses de noviembre a enero (86%), en tanto que la de frijol entre octubre y diciembre (67%). Algunos productores extienden la cosecha de frijol hasta enero o febrero (17%). Tanto el maíz como el frijol son cosechados en forma manual cuando las

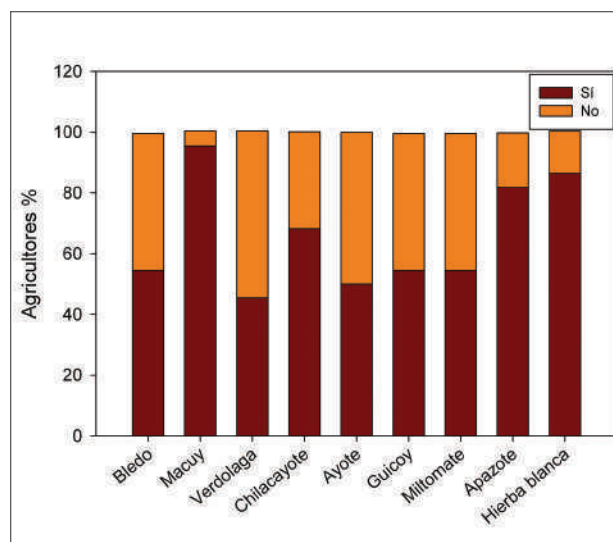


Gráfica 6. Rendimientos de maíz reportados según grupo étnico.

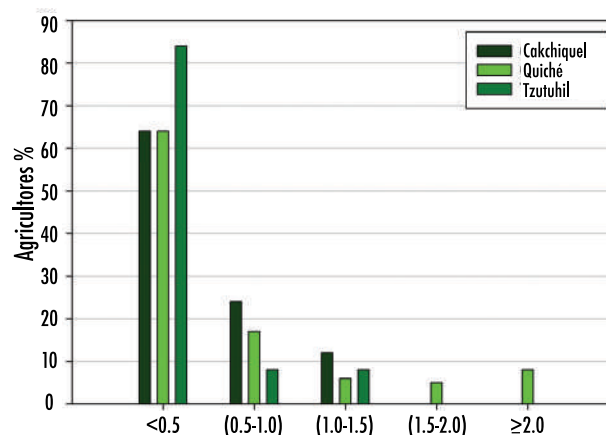
plantas están secas. El producto es transportado al hogar utilizando costales o bien en redes (maíz) para su secado al sol. El secado se lleva a cabo principalmente en el patio y eventualmente se hace en el techo de la casa.

Una vez seco, el maíz es almacenado ya sea en grano o bien en mazorca. Prevalece el almacenamiento en mazorca en un 64% de los casos, particularmente en sacos y trojas (Cuadro 13A del anexo). El 96% de los productores de frijol lo almacenan en grano, la mayoría de ellos utilizando sacos (89%) (Cuadros 13A y 14A del anexo). Solo el 4% almacena el frijol como vainas secas.

El 52% de los productores no aplica producto alguno para preservar el producto durante el almacenamiento. De los que si lo hacen, el 2% utiliza un producto orgánico (hojas de eucalipto) y el 98% utiliza productos químicos. Aunque se reporta el uso de cal y Malatión, sobresale el uso de Phoxim y fosforo de aluminio (n.c. Phostoxin o Gastion), siendo el último un producto que se gasifica por lo que se aplica en ambientes cerrados.



Gráfica 8. Presencia de especies comestibles cultivadas y no cultivadas que también forman parte del sistema Milpa (n=22)



Gráfica 7. Rendimientos de frijol de enredo reportados según grupo étnico.

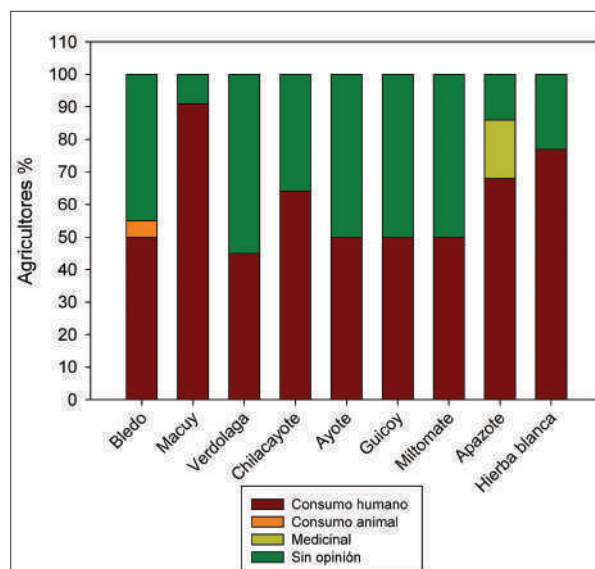
### • Destino de la producción de maíz y frijol

El principal destino de la producción de maíz y frijol es para el autoconsumo. El 85% de los productores de maíz utiliza el producto únicamente para consumo en tanto que el 15% lo hace tanto para consumo como para la venta. En el caso del frijol, únicamente el 4% de los productores reporta vender parte de la cosecha. El 96% restante produce frijol únicamente para el autoconsumo.

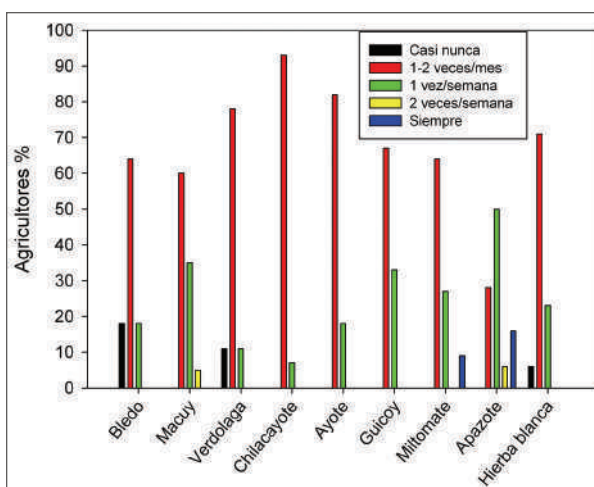
Del 6% que siembra cucúrbitas o haba, aparte de consumirlo, el 86% llega a vender algún excedente.

### • Otras especies comestibles que forman parte del sistema Milpa

Dentro de las especies no cultivadas que usualmente se encuentran en los sitios de producción de maíz mencionaron la hierba mora o macuy (*Solanum nigrescens*), el apazote (*Teloxys ambrosioides*), la hierba blanca (*Brassica cf. napus* var. *napobrassica*), el miltomate (*Physalis philadelphica*), el bleado o



Gráfica 9. Usos de otras especies que forman parte del sistema Milpa (n=22)



**Gráfica 10.** Frecuencia de consumo de otras especies que forman parte del sistema Milpa (n=22)

amaranto (*Amaranthus* spp.) y la verdolaga (*Portulaca oleracea*) (Gráfica 8). Es usual encontrarlas en la época de invierno.

Otras plantas comestibles como el caso del chilacayote (*Cucurbita ficifolia*), el ayote (*Cucurbita argyrosperma*) y el guicoy (*Cucurbita pepo*) son plantadas en los sitios año con año, ver Gráfica 8.

El principal uso para las diferentes especies es el consumo humano, particularmente para el autoconsumo. Sin embargo, cuando hay una alta producción disponible, parte es destinada al mercado local. Es poco frecuente el uso de esas plantas para el consumo animal o como medicina (Gráfica 9). En el caso de las hierbas, la parte comúnmente utilizada son las hojas y para las cucúrbitas y el miltomate son los frutos.

La mayor parte de especies son consumidas entre 1 y 2 veces al mes. Aunque hay especies como el macuy, el guicoy, miltomate y apazote que son consumidos por lo menos una vez por semana (Gráfica 10).

## Discusión

El sistema Milpa de Sololá se considera un sistema tradicional ya que presenta muy pocas innovaciones tecnológicas de origen local o externo. Muchas de las actividades realizadas como parte del sistema no están vinculadas a grupos étnicos específicos.

Resultados similares han sido reportados en estudios previos en la región (Ruano y Juárez, 2008).

No existe consistencia en las dimensiones de la unidad de medida de superficie (cuerda) con relación al grupo étnico. Al comparar los Cuadros 1 y 2, se observa que de los 9 municipios en que los entrevistados pertenecen a un mismo grupo étnico, únicamente en 5 municipios utilizan la misma unidad de medida dentro de cada municipio, aunque varía entre municipios a pesar de que se trata de un mismo grupo étnico. Esto es válido para productores de la etnia Quiché, Cakchiquel y Tzutuhil. De los 6 municipios que comparten la cuerda de 32 x 32v,

únicamente los productores de 3 municipios reportaron pertenecer a una misma etnia, independientemente de la etnia que se trate.

De las principales especies cultivadas incluidas en el sistema Milpa, indistintamente del grupo étnico, prevalecen la asociación M-Fe (47%) y el monocultivo de maíz (28%).

Un número importante de Cakchiqueles y Quichés, incluyen al sistema M-Fe otros cultivos como cucúrbitas, haba, papa, frijol arbustivo o yuca. Con esto, a nivel general la asociación M-Fe alcanza el 57% de la base del sistema, mientras que la asociación M-Fa es la base de la producción en 12% de los productores y el asocio de maíz con otras especies únicamente el 3%.

Considerando los diferentes sistemas de producción se extrae que en el caso particular de Sololá, en un 72% la producción de maíz está asociada a otros cultivos, y como Sistema Milpa incluye Maíz, frijol (enredo y arbustivo), cucúrbitas, haba, papa, arveja, coliflor o yuca así como otras especies comestibles que nacen en forma natural en los sitios de cultivo; encontrándose asociadas o como relevo unas de otras (Ruano y Juárez, 2008; FAO, 2007).

El frijol de enredo, junto al maíz, son las especies que sirven de base al sistema. Agrupado por municipio, en el 100% de los municipios se reporta la siembra del frijol de enredo, lo cual es independiente de la ubicación del sitio de producción y por ende del clima prevaleciente en la región. El cultivar de frijol podría variar dependiendo de la altitud.

El frijol arbustivo como parte del sistema se reporta en los municipios de San Antonio Palopó, San Andrés Semetabaj, San Juan la Laguna, San Lucas Tolimán, Santa Lucía Utatlán, Santiago Atitlán y Santa Catarina Palopó. No se reporta su uso en el resto de municipios. Sería importante la transferencia de tecnología con relación a nuevas variedades de frijol arbustivo en dichos municipios.

En un estudio sobre el sistema Milpa en el departamento de Sololá, Ruano y Juárez (2008) llevaron a cabo una entrevista a varios agricultores de diferentes estratos altitudinales, determinando que en el estrato bajo predomina el maíz en monocultivo, en el estrato medio el sistema M-Fe y en el estrato alto el sistema maíz – haba. Estos resultados coinciden con los resultados de nuestro estudio únicamente en lo relacionado al estrato medio, no así para la parte baja y alta del departamento.

En nuestro estudio se incluyeron productores de casi todos los municipios de Sololá y en su mayoría reportaron el sistema M-Fe como la base principal del sistema Milpa.

El 94% y 100% de los productores utilizan semilla nativa de maíz y frijol de enredo, respectivamente. Algunas razas del maíz nativo de Sololá son reportadas como razas ‘primitivas’ y otras como ‘exóticas y derivadas’ (Orellana y Dardón, 2012). Llama poderosamente la atención que después de más de 50 años que el país ha invertido en el desarrollo de semilla mejorada de maíz y frijol para los productores, a la fecha la mayor parte de productores de Sololá utilizan la semilla que ellos mismos han desarrollado durante generaciones. Esto también puede verse desde la óptica de la conservación y uso de los recursos nativos como algo sumamente positivo, ya que tanto las variedades de maíz y frijol de enredo han sido generados



localmente y han constituido la base de la alimentación de dicha región. De otra forma, los cultivares nativos pudieron haberse perdido.

Algunas variedades mejoradas de maíz para el altiplano fueron generadas hace aproximadamente 30 años (Fuentes, 2002; Del Valle, 1988) pero son desconocidas por los agricultores o bien no las han adoptado. Actualmente 4 materiales mejorados de maíz están siendo evaluados por la Universidad del Valle de Guatemala en Sololá, por medio del proyecto UVG-USDA-FFPr10. Aproximadamente el 81% de los encuestados manifestó interés en probar la semilla mejorada de maíz y frijol, ya que les atribuyen un menor ciclo de producción. El 19% restante fue enfático en indicar que no les interesa probar semilla mejorada ya que no quieren perder la semilla nativa que utilizan.

Tomando en consideración que algunos productores han reportado altos rendimientos de maíz nativo, sería conveniente que en vez de continuar generando materiales mejorados de maíz, el enfoque se desarrolle hacia la mejora de los maíces locales. Idealmente que se tome en cuenta a los productores a fin de generar el prototipo de maíz acorde a sus necesidades, enmarcados dentro del sistema Milpa. Los métodos y las técnicas sobre fitomejoramiento participativo con maíces nativos están disponibles, mucho de esto generado en el país por medio de la cooperación internacional (FAO, 2011a y FAO, 2011b). Aspectos a tomar en cuenta para el mejoramiento del maíz nativo incluyen rendimiento, precocidad, altura de planta, calidad nutritiva del grano y amplia adaptación del germoplasma a los diferentes microclimas.

Para el caso del frijol de enredo también existen materiales mejorados para uso en el Altiplano del país. Estos son desconocidos en Sololá. Actualmente están siendo evaluados por la Universidad del Valle de Guatemala como parte del Sistema Milpa de la región.

Se determinó una preferencia relativa de las épocas de preparación de suelo, siembra y cosecha con relación al grupo étnico, indistintamente de la alta variabilidad en las épocas en que cada grupo lleva a cabo dichas actividades. Sin embargo, se presume que estas labores podrían estar más relacionadas a la ubicación geográfica de los sitios de producción por su relación con el clima, la cultura general de la región así como por el tipo de maíz y frijol que cultivan.

La densidad de siembra de maíz obtenida a partir del número de semillas por postura y los distanciamientos entre plantas, es independiente del grupo étnico. La mayor parte de entrevistados de cada una de las etnias utilizan la densidad de población entre 50 y 75 mil plantas por hectárea. El número de 50,000 semillas por hectárea está acorde a la recomendación del MAGA para maíces del Altiplano (Orellana y Dardón, 2012). El MAGA recomienda un distanciamiento de 1m entre hileras de maíz y 0.8 m entre posturas, con 4 semillas por postura. En promedio, los productores de Sololá utilizan 0.95 m entre hileras y 0.83 m entre posturas, colocando 5 semillas por postura con lo cual estarían un 25% arriba de las 50,000 p/ha recomendadas por el MAGA.

La densidad modal para frijol de enredo de la etnia Cakchiquel y Tzutuhil está entre 24 y 36 mil plantas por hectárea y para la etnia Quiché entre 12 a 24 mil p/ha. Esto puede deberse al número de semillas de frijol por postura de maíz o bien al arreglo

topológico del sistema M-Fe, ya que algunos productores colocan el frijol en posturas alternas y otros lo siembran en cada una de las posturas.

Los tres grupos étnicos realizan el mismo número de limpiezas (1 a 4), prevaleciendo dos limpiezas para el grupo Quiché (47%) y tres para los grupos Cakchiquel (47%) y Tzutuhil (57%). Como sistema tradicional, el control de maleza es en forma manual utilizando azadón y machete. Esto es positivo ya que se evita el ingreso de herbicidas al sistema.

Un aspecto que llama poderosamente la atención y que contrasta con la creencia que los pequeños productores de maíz no utilizan fertilizante o usan poco fertilizante, es el hecho que el 99.5 % de los productores realiza la práctica de la fertilización. Esto es indistinto del origen étnico de los productores. En promedio, el 98% de los productores utiliza fertilizante inorgánico, ya sea solo o en combinación con abono orgánico. El 100% de los entrevistados provenientes de San José Chacayá, San Pablo la Laguna, Santa Catarina Palopó y Santa Catarina Ixtahuacán reportaron utilizar únicamente fertilizante inorgánico. El número de fertilizaciones va de 1 a 3, prevalecen 2 fertilizaciones para el 50% de los entrevistados.

El uso del fertilizante por parte de los pequeños productores de maíz y frijol ha sido impulsado por empresas distribuidoras de agroquímicos, técnicos y organizaciones vinculadas a la agricultura. Institucionalmente, desde hace 14 años se creó el programa de fertilizantes por parte del gobierno de Guatemala.

A la fecha, el programa ha invertido más de 2 millones de quetzales (IARNA-FAUSAC, 2013; Contreras et al., 2012).

Indistintamente del grupo étnico, prevalece el uso de la fórmula 20-20-0 en las diferentes fertilizaciones. Esta es una fórmula de uso popular en la agricultura. El programa de fertilizantes del gobierno también ha venido impulsando el uso de dicha fórmula junto al fertilizante 15-15-15 y urea, sin ningún estudio de suelos que los sustente (Contreras et al., 2012).

Las cantidades utilizadas van desde menos de 200 hasta más de 800 Kg/ha/fertilización. Prevalece el rango de 200 – 400 Kg fertilizante/ha/aplicación. Asumiendo 2 fertilizaciones y la aplicación de hasta 800 kg de 20-20-0 por ciclo de producción, se tendría un ingreso de nitrógeno (N) y fósforo (P) al sistema en el orden de hasta 160 kg de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectárea por ciclo. La aplicación de 160 kg de N por ha es alta en comparación con la recomendación de 106 – 66 kg N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectárea para el área de Chimaltenango (Del Valle et al., 1984) o bien la recomendación general de 85 – 35 Kg de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para maíces del Altiplano, respectivamente (Orellana y Dardón, 2012).

El caso del P es diferente, ya que la mayor parte de suelos del departamento de Sololá son de origen volcánico (orden Andisol) con una alta capacidad de fijar e inmovilizar P, reduciendo así su disponibilidad para las plantas (MAGA/DIGEGRI-IGAC, 2013). La situación se agrava en el caso de aquellos productores que realizan 3 fertilizaciones ya que la cantidad de N incrementaría a 240 kg/ha o bien aquellos casos en donde los productores aplican hasta 800 kg/ha/aplicación, lo cual duplica la cantidad de N y P a 320 kg de NP/ha respectivamente. Esas cantidades de fertilizante no tienen razón de ser ya que están muy por arriba del requerimiento de los cultivos involucrados en el sistema (Bertsch, 2003), aparte de ser perjudiciales al ambiente (Pierzynski

et al., 2000). Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Ruano y Juárez (2008) quienes también indican la posible sobredosificación de fertilizantes en el sistema Milpa.

Aproximadamente el 79% de los productores reporta presencia de plagas en maíz y alrededor del 50% lo hace para el caso del frijol. Las principales plagas reportadas para maíz y frijol son algunas de las mismas plagas reportadas tradicionalmente en esos cultivos en muchas regiones productoras de granos del país (Orellana y Dardón, 2012; Fuentes, 2002; ICTA, 1988; Cardona et al., 1982). La información provista por los productores no presenta evidencia de nada que no se haya reportado antes por los productores y técnicos a nivel nacional, incluyendo las plagas presentes durante su almacenamiento (Orellana y Dardón, 2012; Landaverde, 2003).

A pesar que un alto porcentaje de productores reportó problemas con plagas en maíz y frijol, en promedio, únicamente el 55% realiza algún tipo de control. Incorporan tanto el control cultural como el control químico. Por el tipo de productos que utilizan como control químico, se presume que está orientado a proteger el maíz contra *Spodoptera frugiperda*. Otros productos como el Malatión (organofosforado de etiqueta verde, ligeramente tóxico, introducido al mercado en 1,950) y Metil Paration (organofosforado de etiqueta roja, altamente tóxico, introducido al mercado durante los años 40), podrían estar orientados a la protección de las plantas de frijol (Ware, 1989).

Sorprende el hecho que alrededor del 82% de los productores no sabe si los cultivos de maíz y frijol presentan algunos problemas con enfermedades. Es evidente que muy pocos productores conocen el tipo de enfermedad que presentan sus cultivos. En general tienden a utilizar las palabras 'argeño', 'tizón' o 'pudrición' para referirse a las diferentes enfermedades. El 100% de los productores que reportaron problemas con enfermedades también indicaron que no realizan ningún tipo de control. Esto contrasta con el caso de las plagas, en donde si hay productores que llevan a cabo algún tipo de control. Se desconoce el porcentaje de pérdidas de la producción por problemas con plagas y enfermedades. El 89% de los entrevistados reportó estar interesado en ser capacitado en la producción de granos básicos. Esto es importante tomarlo en cuenta a fin de diseñar un programa de transferencia de tecnología para el sector productor de granos de Sololá.

Alrededor del 97% de los productores que utilizan algún tipo de plaguicida selecciona el tipo de producto y dosis con base en su experiencia, de la casa comercial o bien de algún vecino.

Sorprende que únicamente el 3% reportara haber recibido alguna recomendación de algún técnico agrícola. Esto es congruente con la realidad actual del apoyo de extensión agrícola a los pequeños productores, ya que durante la década del 90 el sector público agrícola fue reducido drásticamente, y a la fecha aún no han podido implementar un programa efectivo de apoyo a los pequeños productores de granos básicos del país. El fortalecimiento de políticas públicas en beneficio de los productores, particularmente aquellos con menores recursos, es importante para el desarrollo del sector agro-alimentario. Esto sin llegar a caer en el paternalismo.

Los resultados también evidencian que es necesaria la capacitación a productores con el tema del uso y manejo de

plaguicidas. El 93% indicó que nunca ha sido capacitado sobre ese tema y de los pocos que si lo han hecho, predomina la participación del sector privado o agremiado, organismos internacionales y proyectos puntuales en comparación con un proceso efectivo de extensión por parte del sector público agrícola.

El 71% de los productores reportó rendimientos de 1 a 4 Mg de maíz/ha, para una media general de 2.9 Mg/ha. Estos valores están alrededor de un Mg/ha arriba de los valores reportados para el departamento de Sololá hace unos 10 años (INE, 2004). Otros reportes de la región mencionan rendimientos de maíz de aproximadamente 1.3 Mg/ha (Mejía y Rojas, 2012). Es importante llevar a cabo una búsqueda y selección de los mejores maíces nativos, tanto desde el punto de vista del rendimiento como por su precocidad, resistencia al acame (volcamiento por vientos) y otros atributos agronómicos.

El 71% de los productores reportó rendimientos de frijol inferiores a 0.5 Mg/ha. Estos datos concuerdan con el reporte del INE (2004) para Sololá en donde se indican rendimientos de frijol de alrededor de 0.3 Mg/ha, los cuales están por debajo del promedio nacional (0.8 Mg/ha) (MAGA, 2011). Esta diferencia puede ser debido al cultivar de frijol, sistema de producción y manejo agronómico del cultivo.

Tomando en consideración que la mayor parte de la producción de maíz (85%) y frijol (96%) es para autoconsumo, todos los productores guardan casi la totalidad de la cosecha. La práctica de almacenamiento es indistinta del grupo étnicos del que se trate. En el caso del maíz prevalece el almacenamiento de mazorcas en trojas, lo cual fue reportada consistentemente en 14 de los 16 municipios incluidos en el estudio. En el caso del frijol, su almacenamiento es en grano utilizando sacos (89%). Únicamente el 29% de los entrevistados reconoció tener problemas con plagas en el almacenamiento. De los dos productos que utilizan (Phoxim y fosfuro de aluminio), el fosfuro de aluminio (Phostoxin o Gastion) es de etiqueta roja, el cual se volatiliza al estar en contacto con el ambiente. Esto debe de ser tomado en cuenta para efecto de capacitar sobre el manejo de dichos productos.

En general muy pocos productores hacen uso de silos para el almacenamiento de la cosecha. Esto posiblemente como resultado del costo del silo, desconocimiento o conformidad con su sistema actual de almacenamiento. Sin embargo, podría impulsarse como parte de las buenas prácticas agrícolas y de almacenamiento.

Tomando en cuenta el área media de la unidad de producción (0.23 ha) y el rendimiento medio reportado por los productores entrevistados (2.9 Mg/ha), estarían cosechando aproximadamente 600 kg de grano de maíz. Esta cantidad es factible almacenarla en uno o dos pequeños silo metálicos, lo cual reduciría enormemente las pérdidas de post-cosecha.

Como parte de algunos alimentos complementarios en la dieta de las familias de los productores, es de mucho valor el apareamiento y aprovechamiento de hierbas comestibles que coexisten como parte del complejo de malezas en los sitios plantados con maíz, por lo que forman parte importante del Sistema Milpa. Sobresalen la presencia del bleo o amaranto

(*Amaranthus ssp.*), la hierba mora o macuy (*Solanum nigrescens*), verdolaga (*Portulaca oleracea*) y hoja blanca (*Brassica cf. napus* var. *Napobrassica*), algunas de las cuales son consumidas por lo menos una vez por semana. Estas especies son reconocidas por su potencial nutricional (INCAP, 2007), por lo que juegan un rol sumamente importante para la lucha contra la inseguridad alimentaria e inseguridad nutricional de la región. Algunas otras como el apazote (*Teloxys ambrosoides*) es utilizada como planta medicinal. De acuerdo con Azurdia et al (2011), estas especies comestibles son nativas de Mesoamérica y están ampliamente distribuidas en el altiplano del país.

Es importante encaminar esfuerzos hacia la conservación de los recursos nativos así como identificar prácticas agrícolas adaptadas al cambio climático. En Guatemala, el Instituto Privado para el Cambio Climático (ICC) viene realizando una serie de talleres en varias partes del país a fin de consolidar algunas prácticas para la adaptación de los cultivos de maíz y frijol al cambio climático (ICC, 2013).

## Conclusiones

- El sistema Milpa de Sololá presenta muy pocas innovaciones tecnológicas de origen local o externo, por lo que se considera un sistema tradicional.
- Como parte de la tecnología introducida sobresalen en orden de importancia: Fertilizantes, insecticidas químicos y el uso de silos para almacenamiento de granos
- La base del sistema 'Milpa' de Sololá es el maíz nativo y el frijol de enredo (nativo), a los cuales muy pocos agricultores adicionan frijol arbustivo, cucúrbitas, haba, hortalizas o miltomate.
- Algunas especies cultivadas dentro del sistema, como cucúrbitas y miltomate, se están utilizando muy poco, por lo que se corre el riesgo de perder ese germoplasma nativo.
- Se confirmó la importancia de las hierbas comestibles que conviven con el complejo de malezas para la alimentación humana durante la época lluviosa.
- La mayor parte de actividades agronómicas relacionadas al manejo del cultivo no están vinculadas al grupo étnico.
- Aunque las épocas de preparación del suelo, siembra y cosecha dependen del tipo de germoplasma de maíz y frijol así como de la ubicación geográfica del sitio de producción, estas prácticas también están vinculadas relativamente al grupo étnico.
- La mayor parte de los productores hace un manejo adecuado de los restos vegetales que quedan en los campos de cultivo ya que incorporan esos desechos vegetales, con lo cual le dan continuidad al ciclo del C en el suelo en favor de la formación y acumulación de humus.
- La productividad del sistema podría estar amenazada por problemas de plagas, enfermedades y eventos climáticos extremos lo cual pone en riesgo la seguridad alimentaria nutricional de la población así como la conservación de los recursos nativos que forman parte del sistema Milpa.
- Fue evidente la necesidad de los productores de Sololá de ser capacitados en diferentes aspectos relacionados al manejo de los cultivos que forman parte del sistema Milpa.

## Recomendaciones

- Fortalecer los programas de investigación aplicada vinculados al sistema Milpa que incluyan la participación de los productores.
  - Selección y evaluación de maíces nativos buscando identificar los de mayor productividad y amplio rango de adaptación.
  - Determinar las densidades población más adecuadas para las variedades de maíz y frijol nativos a seleccionar dentro del marco del sistema Milpa.
  - Evaluación de variedades mejoradas de frijol de enredo y arbustivo.
  - Evaluación de variedades de amaranto.
  - Definir programas adecuados de nutrición vegetal para los diferentes tipos de suelo de la región mediante el uso de fertilizante químico y compost.
  - Uso de compost enriquecido con microorganismos benéficos para el control de artrópodos y patógenos del suelo.
  - Uso de cepas efectivas *Rhizobium* en la producción de frijol.
  - Evaluar diferentes sistemas de asocio de las especies que forman parte del sistema Milpa, incluyendo la generación de información sobre pérdida del suelo.
  - Búsqueda de las mejores prácticas para mantener o mejorar calidad de los suelos de la región.
  - Búsqueda de opciones apropiadas para el mejoramiento del almacenamiento de la producción a fin de reducir pérdidas de pos-cosecha.
  - Mejoramiento participativo de los maíces y frijoles nativos de la región como herramienta para incrementar la productividad del sistema.
  - Establecer un banco de germoplasma en la región que incluya especímenes de las diferentes especies de plantas que conforman el sistema Milpa.
  - Establecimiento de bancos comunales para preservar semilla de los mejores cultivares de maíz y frijol como medida de la adaptación de la agricultura local al cambio climático.
- Impulsar un programa de capacitación y transferencia de tecnología que entre otros elementos también incluya:
  - Producción, manejo pos-cosecha y almacenamiento del producto.
  - Selección de semilla para el siguiente ciclo productivo.
  - Uso adecuado de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) a efecto de evitar sobredosisaciones y el uso de productos prohibidos en la producción agrícola.
  - Producción y uso adecuado de abonos orgánicos.
  - Uso de *Rhizobium* como estrategia para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados.
  - Manejo integrado del cultivo incluyendo el uso de microorganismos benéficos vía compost para el control de artrópodos y patógenos del suelo.
  - Adaptación del sistema Milpa al cambio climático.
  - Conservación de las especies que forman parte del sistema a fin de preservar los recursos nativos y la seguridad alimentaria nutricional.



## Agradecimientos

A los técnicos de UVG, MAGA y de FAO con sede en Sololá que apoyaron la convocatoria de líderes y productores para poder llevar a cabo este estudio. Al Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) quien por medio del programa *Food for Progress 2010* (FFP10) financió la ejecución del presente estudio (Contrato OGSM: FCC-520-2010/026-00).

## Bibliografía

- Aldana LF (2010) *Manual Técnico: Producción Comercial y de Semilla de Frijol (Phaseolus vulgaris L.)* 1ª edición, ICTA/MAGA-JICA, Quetzaltenango, Guatemala
- Azurdia C, Williams KA, Williams DE, Van Damme V, Jarvis A, Castaño SE (2011) *Atlas of Guatemalan Crop Wild Relatives* United States Department of Agriculture/Agricultural Research Service (USDA/ARS), Biodiversity International; International Center for Tropical Agriculture (CIAT), University of San Carlos in Guatemala (FAUSAC) <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=22225>
- Bressani R (2012) *Promueven el Consumo de Hierbas* El Quetzalteco. Nota de Prensa por Emma Gómez, 16/8/2012, Quetzaltenango, Guatemala
- Bressani R (2013) *Es Bueno Comer Hierbas* Prensa Libre. Nota de Prensa por Roberto Villalobos, Guatemala
- Cardona C., Flor CA, Morales FJ, Pastor M (1982) *Problemas de Campo en los Cultivos de Frijol en América Latina* 2ª edición Centro Internacional de Agronomía Tropical-CIAT. Cali, Colombia
- Contreras B, Mendoza E, Molina D, Rayo M, Siekavizza M, Solíz D (Sin fecha) *Análisis del Programa de Entrega de Fertilizantes del Gobierno de Guatemala* Asociación de Investigación y Estudios Sociales-ASIES, Guatemala
- Del Valle R, Fuentes DE, Chew F (1984) *Fertilización de Variedades de Maíz para Chimaltenango* Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Sector Público Agropecuario y de Alimentación, Guatemala
- Fuentes L (2002) *El Cultivo del Maíz en Guatemala: Una Guía para su Manejo Agronómico* ICTA-MAGA. Guatemala
- Fuentes M, Van Etten J, Ortega A, Vivero JL (2005) *Maíz para Guatemala: propuesta para la reactivación de la cadena agroalimentaria del maíz blanco y amarillo* FAO-PESA, FAO. Guatemala
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC- (2013) *Memoria del Primer Taller: Hacia una Producción de Maíz y Frijol Adaptada al Cambio Climático* ICC-USAID, Escuintla, Guatemala
- ICTA (1988) *Recomendaciones Técnicas Agropecuarias para los Departamentos de Jutiapa y Jalapa* Sector Público Agropecuario y de Alimentación, Guatemala
- INCAP (2007) *Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica* Menchú MT, Méndez H (editores) INCAP, Guatemala
- Instituto Nacional de Estadística -INE- (2004) *IV Censo Nacional Agropecuario* Tomo II, Guatemala
- INE y BM (2011) *Mapas de Pobreza Rural en Guatemala 2011* Instituto Nacional de Estadística y Banco Mundial, Guatemala
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente -IARNA- URL- y Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala -FAUSAC- (2013) *Evaluación del Programa de Fertilizantes del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-*, Guatemala
- Landaverde LA (2003) *Las Plagas de los Productos Almacenados en la Región de OIRSA* El Salvador
- MAGA/DIGEGR-IGAC (2013) *Estudio Semidetallado de los Suelos del Departamento de Sololá* Tomos I y II. Convenido de Cooperación MAGA-IGAC 43-2006, Guatemala
- Mejía A, Rojas E (2012) *Línea de Base del Proyecto para el Desarrollo Agrícola -UVG-USDA-FFPr10-* Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-, (2011) *El Agro en Cifras* Primera Edición Anual, Guatemala
- Orellana A, Dardón D (2012) *Aspectos Generales y Guía para el Manejo Agronómico del Maíz en Guatemala* Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA-, Ministerio de Agricultura, FAO, AECID, Guatemala
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO- (2007) *Guía Metodológica: La Milpa del Siglo XXI* Oficina Local FAO, Guatemala
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO-. (2011a) *Manual Técnico de Fitomejoramiento Participativo de Maíz en Áreas del Altiplano y Sequía en Guatemala* MAGA-AECID-FAO, Guatemala
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO- (2011b) *Agricultores Mejoradores de su Propia Semilla* MAGA-AECID-FAO, Guatemala
- Pierzynsky GM, Sims JT, Vance GF (2000) *Soil and Environmental Quality* CRC Press, 2<sup>nd</sup> edition
- Ruano S, Juárez H (2008) *Estudio Sobre la Situación Actual del Sistema Milpa en el Departamento de Sololá* Oficina Local de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón -JICA- Guatemala
- Ware GW (1989) *The Pesticide Book* Thomson Publications. 3<sup>rd</sup> edition

**Cuadro 1A.** Distribución (%) de los productores de maíz incluidos en el estudio según municipio y grupo étnico (n=198)

**Cuadro 2A.** Distribución (%) de las medidas de superficie reportadas por los entrevistados según el municipio de procedencia (n=198)

**Cuadro 3A.** Distribución (%) de las épocas de preparación del suelo para la siembra de maíz y frijol según el municipio de procedencia (n=198)

**Cuadro 4A.** Distribución (%) de las especies cultivadas con el maíz según municipio (n=198)

**Cuadro 5A.** Distribución (%) de los colores de maíz según municipio (n=198)

**Cuadro 6A.** Colores del grano de maíz reportados por los productores (%) de acuerdo al grupo étnico (n=198)

**Cuadro 7A.** Formas de almacenamiento (%) del maíz para semilla (n=198)

**Cuadro 8A.** Distribución (%) de las épocas de siembra de maíz y frijol de enredo según el grupo étnico (n=198)

**Cuadro 9A.** Épocas de siembra (%) de maíz y frijol de enredo según municipio (n=198).

**Cuadro 10A.** Distribución (%) de las densidades de población (p/ha) de maíz y frijol según etnia (n=198)

## Anexo

**Cuadro 1A.** Distribución (%) de los productores de maíz incluidos en el estudio según municipio y grupo étnico (n=198)

| Municipio                 | Grupo Etnico |           |           |
|---------------------------|--------------|-----------|-----------|
|                           | Cakchiquel   | Quiché    | Tzutuhil  |
| Concepción                | 100          | -         | -         |
| Nahualá                   | -            | 100       | -         |
| San Andrés Semetabaj      | 67           | 33        | -         |
| San Antonio Palopó        | 100          | -         | -         |
| San José Chacayá          | 67           | -         | 33        |
| San Juan La Laguna        | -            | 80        | 20        |
| San Lucas Tolimán         | 100          | -         | -         |
| San Pablo La Laguna       | -            | -         | 100       |
| San Pedro La Laguna       | -            | -         | 100       |
| Santa Catarina Ixtahuacán | -            | 100       | -         |
| Santa Catarina Palopó     | 67           | 33        | -         |
| Santa Clara La Laguna     | -            | 100       | -         |
| Santa Lucía Utatlán       | 7            | 93        | -         |
| Santa María Visitación    | 8            | 58        | 33        |
| Santiago Atitlán          | -            | -         | 100       |
| Sololá                    | 50           | 50        | -         |
| <b>Promedio (%)</b>       | <b>35</b>    | <b>41</b> | <b>24</b> |

**Cuadro 3A.** Distribución (%) de las épocas de preparación del suelo para la siembra de maíz y frijol según el municipio de procedencia (n=198)

|                           | Nov.       | Dic.       | Ene.        | Feb.        | Mar.        | Abr.        | May.       |
|---------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Concepción                | -          | -          | -           | 77          | 8           | -           | 15         |
| Nahualá                   | -          | 16         | 50          | 17          | 17          | -           | -          |
| San Andrés Semetabaj      | -          | -          | 4           | 28          | 56          | 6           | 6          |
| Sn. Antonio Palopó        | -          | -          | -           | -           | 29          | 57          | 14         |
| San José Chacayá          | -          | -          | 67          | 33          | -           | -           | -          |
| San Juan La Laguna        | -          | 10         | 20          | 20          | 40          | 10          | -          |
| San Lucas Tolimán         | -          | -          | -           | 8           | 23          | 69          | -          |
| San Pablo La Laguna       | -          | -          | -           | 45          | 18          | 28          | 9          |
| San Pedro La Laguna       | -          | -          | 65          | 12          | 18          | -           | 5          |
| Santa Catarina Ixtahuacán | -          | -          | 40          | 30          | 30          | -           | -          |
| Santa Catarina Palopó     | -          | -          | -           | 33          | -           | 67          | -          |
| Santa Clara La Laguna     | -          | 29         | 29          | 14          | 14          | 14          | -          |
| Santa Lucía Utatlán       | -          | 20         | 47          | 20          | 13          | 0           | -          |
| Sta. Ma. Visitación       | -          | -          | 17          | -           | 58          | 25          | -          |
| Santiago Atitlán          | -          | -          | -           | -           | 13          | 83          | 4          |
| Sololá                    | 17         | 33         | -           | 17          | 25          | 8           | 0          |
| <b>Promedio</b>           | <b>1.1</b> | <b>6.8</b> | <b>21.2</b> | <b>22.1</b> | <b>22.6</b> | <b>22.9</b> | <b>3.3</b> |

**Cuadro 2A.** Distribución (%) de las medidas de superficie reportadas por los entrevistados según el municipio de procedencia (n=198)

| Municipio                | Número de varas <sup>1</sup> por lado |            |            |             |            |            |             |            |            |            |            |
|--------------------------|---------------------------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
|                          | 18 x 18                               | 20 x 20    | 24 x 24    | 25 x 25     | 28 x 28    | 30 X 30    | 32 X 32     | 33 X 33    | 34 X 34    | 36 X 36    | 40 X 40    |
| Concepción               | -                                     | -          | -          | -           | -          | 15         | 85          | -          | -          | -          | -          |
| Nahualá                  | -                                     | -          | -          | 100         | -          | -          | -           | -          | -          | -          | -          |
| San Andrés Semetabaj     | 11                                    | 33         | -          | -           | -          | 11         | -           | -          | -          | 28         | 17         |
| San Antonio Palopó       | -                                     | -          | -          | -           | -          | -          | -           | 43         | -          | 57         | -          |
| San José Chacayá         | -                                     | -          | -          | -           | -          | -          | 100         | -          | -          | -          | -          |
| San Juan La Laguna       | -                                     | -          | -          | -           | -          | -          | 100         | -          | -          | -          | -          |
| San Lucas Tolimán        | -                                     | -          | -          | -           | -          | -          | 100         | -          | -          | -          | -          |
| San Pablo La Laguna      | -                                     | -          | -          | -           | -          | -          | 100         | -          | -          | -          | -          |
| San Pedro La Laguna      | -                                     | -          | -          | -           | -          | -          | 100         | -          | -          | -          | -          |
| Sta. Catarina Ixtahuacán | -                                     | -          | -          | 85          | 15         | -          | -           | -          | -          | -          | -          |
| Santa Catarina Palopó    | -                                     | -          | -          | -           | -          | -          | -           | 33         | -          | 67         | -          |
| Santa Clara La Laguna    | -                                     | -          | -          | -           | 14         | -          | 86          | -          | -          | -          | -          |
| Santa Lucía Utatlán      | -                                     | -          | -          | -           | -          | -          | 87          | -          | 13         | -          | -          |
| Santa María Visitación   | -                                     | -          | -          | -           | -          | -          | 100         | -          | -          | -          | -          |
| Santiago Atitlán         | -                                     | -          | -          | -           | 100        | -          | -           | -          | -          | -          | -          |
| Sololá                   | -                                     | -          | 17         | 33          | -          | -          | 50          | -          | -          | -          | -          |
| <b>Promedio (%)</b>      | <b>0.7</b>                            | <b>2.1</b> | <b>1.1</b> | <b>13.6</b> | <b>8.1</b> | <b>1.6</b> | <b>56.8</b> | <b>4.8</b> | <b>0.8</b> | <b>9.5</b> | <b>1.1</b> |

<sup>1</sup>: Una vara = 0.83 m



## Anexo

**Cuadro 4A.** Distribución (%) de las especies cultivadas con el maíz según municipio (n=198)

| Municipio                 | Maíz (M)<br>Monocultivo | M - Fe | M - Fe - Fa | M - Fe - Fa -<br>otro cultivo 1 | M - Fe -<br>otro cultivo 1 | M - Fa | M - Fa - otro<br>cultivo | M - otro<br>cultivo |
|---------------------------|-------------------------|--------|-------------|---------------------------------|----------------------------|--------|--------------------------|---------------------|
| Concepción                | 30                      | 62     | 0           | 0                               | 8                          | 0      | 0                        | 0                   |
| Nahualá                   | 17                      | 58     | 0           | 0                               | 8                          | 0      | 0                        | 17                  |
| San Andrés Semetabaj      | 22                      | 44     | 17          | 0                               | 6                          | 11     | 0                        | 0                   |
| San Antonio Palopó        | 43                      | 29     | 0           | 0                               | 14                         | 14     | 0                        | 0                   |
| San José Chacayá          | 67                      | 33     | 0           | 0                               | 0                          | 0      | 0                        | 0                   |
| San Juan La Laguna        | 30                      | 50     | 0           | 0                               | 0                          | 20     | 0                        | 0                   |
| San Lucas Tolimán         | 0                       | 46     | 0           | 8                               | 23                         | 8      | 15                       | 0                   |
| San Pablo La Laguna       | 18                      | 64     | 0           | 0                               | 18                         | 0      | 0                        | 0                   |
| San Pedro La Laguna       | 53                      | 47     | 0           | 0                               | 0                          | 0      | 0                        | 0                   |
| Santa Catarina Ixtahuacán | 35                      | 55     | 0           | 0                               | 5                          | 0      | 0                        | 5                   |
| Santa Catarina Palopó     | 0                       | 34     | 33          | 33                              | 0                          | 0      | 0                        | 0                   |
| Santa Clara La Laguna     | 29                      | 43     | 0           | 0                               | 29                         | 0      | 0                        | 0                   |
| Santa Lucía Utatlán       | 20                      | 53     | 0           | 0                               | 7                          | 13     | 0                        | 7                   |
| Santa María Visitación    | 17                      | 75     | 0           | 0                               | 8                          | 0      | 0                        | 0                   |
| Santiago Atitlán          | 35                      | 17     | 0           | 0                               | 0                          | 48     | 0                        | 0                   |
| Sololá                    | 17                      | 50     | 0           | 0                               | 8                          | 0      | 0                        | 25                  |
| Promedio (%)              | 27                      | 48     | 3           | 3                               | 8                          | 7      | 1                        | 3                   |

1 = cucúrbitas, hortalizas o yuca

**Cuadro 5A.** Distribución (%) de los colores de maíz según municipio (n=198)

| Municipio                 | Amarillo | Amarillo -<br>Blanco | Amarillo -<br>Blanco - Negro | Amarillo -<br>Negro | Blanco | Blanco -<br>Negro | Negro |
|---------------------------|----------|----------------------|------------------------------|---------------------|--------|-------------------|-------|
| Concepción                | 38       | 47                   | -                            | -                   | 15     | -                 | -     |
| Nahualá                   | -        | 8                    | 75                           | -                   | 17     | -                 | -     |
| San Andrés Semetabaj      | 6        | 28                   | 33                           | 5                   | 28     | -                 | -     |
| San Antonio Palopó        | 14       | 43                   | 29                           | -                   | 14     | -                 | -     |
| San José Chacayá          | -        | 34                   | -                            | 33                  | 33     | -                 | -     |
| San Juan La Laguna        | 20       | 60                   | -                            | -                   | 20     | -                 | -     |
| San Lucas Tolimá          | 15       | 31                   | 8                            | 15                  | 23     | 8                 | -     |
| San Pablo La Laguna       | 27       | 45                   | -                            | 9                   | 10     | -                 | 9     |
| San Pedro La Laguna       | 12       | 24                   | 18                           | -                   | 41     | 5                 | -     |
| Santa Catarina Ixtahuacán | 20       | 65                   | 5                            | -                   | 10     | -                 | -     |
| Santa Catarina Palopó     | 33       | 67                   | -                            | -                   | 0      | -                 | -     |
| Santa Clara La Laguna     | 29       | 43                   | 14                           | -                   | 14     | -                 | -     |
| Santa Lucía Utatlán       | 13       | 53                   | 13                           | -                   | 21     | -                 | -     |
| Santa María Visitación    | -        | 33                   | 33                           | -                   | 17     | 17                | -     |
| Santiago Atitlán          | 35       | 5                    | -                            | -                   | 52     | 4                 | 4     |
| Sololá                    | 9        | 58                   | 8                            | -                   | 25     | -                 | -     |
| Promedio (%)              | 17       | 40                   | 15                           | 4                   | 21     | 2                 | 1     |

**Cuadro 6A.** Colores del grano de maíz reportados por los productores (%) de acuerdo al grupo étnico (n=198)

| Color de Grano            | Cakchiquel | Quiché | Tzutuhil | Promedio |
|---------------------------|------------|--------|----------|----------|
| Amarillo                  | 17         | 13     | 22       | 17       |
| Amarillo - Blanco         | 43         | 47     | 29       | 40       |
| Amarillo - Blanco - Negro | 10         | 25     | 10       | 15       |
| Amarillo - Negro          | 5          | 2      | 4        | 4        |
| Blanco                    | 22         | 13     | 29       | 21       |
| Blanco - Negro            | 3          | 0      | 3        | 2        |
| Negro                     | 0          | 0      | 3        | 1        |

**Cuadro 7A.** Formas de almacenamiento (%) del maíz para semilla (n=198)

| Forma de Almacenamiento | Grupo Etnico |        |          | Promedio |
|-------------------------|--------------|--------|----------|----------|
|                         | Cakchiquel   | Quiché | Tzutuhil |          |
| En grano                | 19           | 19     | 27       | 22       |
| Recipiente              | 10           | 8      | 25       | 14       |
| Silo                    | 5            | 4      | 2        | 4        |
| Troja                   | 4            | 7      | -        | 4        |
| En mazorca              | 81           | 81     | 73       | 78       |
| Colgada                 | 53           | 26     | 39       | 39       |
| Recipiente              | 7            | 17     | 12       | 12       |
| Tapasco                 | 7            | 10     | 16       | 11       |
| Troja                   | 14           | 28     | 6        | 16       |

**Cuadro 8A.** Distribución (%) de las épocas de siembra de maíz y frijol de enredo según el grupo étnico (n=198)

| Mes     | Cakchiquel | Quiché | Tzutuhil | Promedio |
|---------|------------|--------|----------|----------|
| Febrero | 0          | 1      | 15       | 5        |
| Marzo   | 16         | 70     | 21       | 36       |
| Abril   | 19         | 17     | 14       | 17       |
| Mayo    | 65         | 12     | 50       | 42       |

**Cuadro 9A** Épocas de siembra (%) de maíz y frijol de enredo según municipio (n=198).

| Municipio                 | Mes      |           |           |           |
|---------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
|                           | Febrero  | Marzo     | Abril     | Mayo      |
| Concepción                | -        | 8         | -         | 92        |
| Nahualá                   | -        | 83        | 17        | -         |
| San Andrés Semetabaj      | -        | 6         | 17        | 77        |
| San Antonio Palopó        | -        | -         | 43        | 57        |
| San José Chacayá          | 33       | 67        | -         | -         |
| San Juan La Laguna        | -        | 70        | 30        | -         |
| San Lucas Tolimán         | -        | 8         | 15        | 77        |
| San Pablo La Laguna       | -        | -         | 18        | 82        |
| San Pedro La Laguna       | 47       | 29        | 12        | 12        |
| Santa Catarina Ixtahuacán | -        | 95        | -         | 5         |
| Santa Catarina Palopó     | -        | -         | -         | 100       |
| Santa Clara La Laguna     | -        | 43        | 57        | -         |
| Santa Lucía Utatlán       | 7        | 93        | -         | -         |
| Santa María Visitación    | -        | 25        | 33        | 42        |
| Santiago Atitlán          | -        | 4         | -         | 96        |
| Sololá                    | -        | 50        | 25        | 25        |
| <b>Promedio</b>           | <b>5</b> | <b>36</b> | <b>17</b> | <b>42</b> |

**Cuadro 10A.** Distribución (%) de las densidades de población (p/ha) de maíz y frijol según etnia (n=198)

| Plantas por hectárea | Maíz       |        |          |          |
|----------------------|------------|--------|----------|----------|
|                      | Cakchiquel | Quiché | Tzutuhil | Promedio |
| < 25000              | -          | 1      | -        | 0.3      |
| 25000 - 50000        | 25         | 14     | 51       | 30.0     |
| 50000 - 75000        | 60         | 54     | 49       | 54.3     |
| 75000 - 100000       | 5          | 22     | -        | 9.0      |
| ≥ 100000             | 10         | 9      | -        | 6.3      |

| Plantas por hectárea | Frijol de enredo |        |          |          |
|----------------------|------------------|--------|----------|----------|
|                      | Cakchiquel       | Quiché | Tzutuhil | Promedio |
| < 12000              | 11               | 3      | -        | 4.7      |
| 12000 - 24000        | 16               | 61     | 24       | 33.7     |
| 24000 - 36000        | 47               | 15     | 76       | 46.0     |
| 36000 - 48000        | 19               | 18     | -        | 12.3     |
| ≥ 48000              | 7                | 3      | -        | 3.3      |

Cuadro 11A. Distribución (%) de la cantidad de fertilizante utilizada según etnia (n=198)

| Cantidad de  | Grupo Etnico          |        |          | Promedio |
|--------------|-----------------------|--------|----------|----------|
| Fertilizante | Cakchiquel            | Quiché | Tzutuhil |          |
|              | Primera Fertilización |        |          |          |
| < 200        | 22                    | 31     | 36       | 29.7     |
| 200 - 400    | 39                    | 26     | 16       | 27.0     |
| 400 - 600    | 20                    | 28     | 29       | 25.6     |
| 600 - 800    | 17                    | 12     | 19       | 16.0     |
| > 800        | 2                     | 3      | -        | 1.7      |
|              | Segunda Fertilización |        |          |          |
| < 200        | 5                     | 34     | 24       | 21.0     |
| 200 - 400    | 42                    | 34     | 37       | 37.7     |
| 400 - 600    | 20                    | 12     | -        | 10.7     |
| 600 - 800    | 17                    | 9      | 39       | 21.7     |
| > 800        | 16                    | 11     | -        | 9.0      |
|              | Tercera Fertilización |        |          |          |
| < 200        | -                     | 28     | -        | 9.3      |
| 200 - 400    | 50                    | 72     | 41       | 54.3     |
| 400 - 600    | 8                     | -      | 3        | 3.7      |
| 600 - 800    | -                     | -      | 5        | 1.7      |
| > 800        | 42                    | -      | 51       | 31.0     |

**Cuadro 12A.** Métodos (%) de control de plagas según etnia (n=198)

| Método de Control de Plagas                                  | Grupo Etnico |           |           | Promedio  |
|--------------------------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                                                              | Cakchiquel   | Quiché    | Tzutuhil  |           |
| <b>No controla plagas</b>                                    | <b>35</b>    | <b>52</b> | <b>48</b> | <b>45</b> |
| <b>Controla plagas</b>                                       | <b>65</b>    | <b>48</b> | <b>52</b> | <b>55</b> |
| <b>Cultural</b>                                              | <b>15</b>    | <b>9</b>  | <b>3</b>  | <b>9</b>  |
| Apazote, Ceniza o Cola de caballo                            | -            | 1         | -         | 0.3       |
| Cajuela de Gallinaza, eliminación manual o cinta de cassette | 2            | 1         | -         | 1.0       |
| Campana o espejo                                             | -            | 5         | -         | 1.7       |
| Dejan maíz para plagas en el campo                           | -            | 1         | 2         | 1.0       |
| Espantapájaros                                               | 11           | 1         | 1         | 4.3       |
| Jabón                                                        | 2            | -         | -         | 0.7       |
| <b>Insecticidas químicos</b>                                 | <b>50</b>    | <b>39</b> | <b>49</b> | <b>46</b> |
| Folidol                                                      | 7            | 1         | 6         | 4.7       |
| Malatión                                                     | 12           | -         | 16        | 9.3       |
| Monarca                                                      | -            | 1         | -         | 0.3       |
| Poison                                                       | -            | 1         | -         | 0.3       |
| Volatón                                                      | 31           | 36        | 27        | 31.3      |

**Cuadro 13A.** Formas de almacenamiento (%) de los productos de la cosecha de maíz y frijol según etnia (n=198)

| Forma de almacenamiento | Cakchiquel | Grupo Etnico |          | Promedio |
|-------------------------|------------|--------------|----------|----------|
|                         |            | Quiché       | Tzutuhil |          |
|                         |            | Maíz         |          |          |
| En grano                | 57         | 36           | 18       | 37       |
| Sacos                   | 24         | 7            | 10       | 14       |
| Silos                   | 28         | 19           | 8        | 18       |
| Troja                   | 5          | 10           | --       | 5        |
| En mazorca              | 43         | 64           | 83       | 63       |
| Sacos                   | 14         | 12           | 22       | 16       |
| Suelo                   | 0          | --           | 3        | 1        |
| Tapanco                 | 7          | --           | 12       | 6        |
| Tapesco                 | 3          | 6            | 12       | 7        |
| Troja                   | 19         | 46           | 34       | 33       |
|                         |            | Frijol       |          |          |
| En grano                | 97         | 94           | 100      | 97       |
| Sacos                   | 81         | 85           | 100      | 89       |
| Silos                   | 16         | 9            | 0        | 8        |
| En vaina (sacos)        | 3          | 6            | 0        | 3        |
| Sacos                   | 3          | 6            | 0        | 3        |



**Cuadro 14A.** Formas de almacenamiento (%) de la cosecha de maíz según municipio (n=198)

| Municipio                 | Forma de Almacenamiento (%) |             |            |             |            |            |            |             |
|---------------------------|-----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
|                           | En Grano                    |             |            | En Mazorca  |            |            |            |             |
|                           | Sacos                       | Silos       | Troja      | Sacos       | Suelo      | Tapanco    | Tapesco    | Troja       |
| Concepción                | 10                          | 50          | 10         | 10          | -          | -          | -          | 20          |
| Nahualá                   | -                           | -           | -          | 50          | -          | -          | -          | 50          |
| San Andrés Semetabaj      | 7                           | 43          | -          | 14          | -          | -          | 14         | 22          |
| San Antonio Palopó        | -                           | 100         | -          | -           | -          | -          | -          | -           |
| San José Chacayá          | -                           | -           | -          | -           | -          | -          | -          | 100         |
| San Juan La Laguna        | -                           | 25          | -          | -           | -          | -          | -          | 75          |
| San Lucas Tolimán         | 46                          | -           | -          | 23          | -          | 23         | -          | 8           |
| San Pablo La Laguna       | 20                          | -           | -          | 40          | 10         | 10         | 10         | 10          |
| San Pedro La Laguna       | 6                           | 19          | -          | 6           | -          | 6          | 13         | 50          |
| Santa Catarina Ixtahuacán | 25                          | -           | 25         | 8           | -          | -          | -          | 42          |
| Santa Catarina Palopó     | 33                          | -           | 33         | 33          | -          | -          | -          | -           |
| Santa Clara La Laguna     | 14                          | 29          | -          | -           | -          | -          | -          | 57          |
| Santa Lucía Utatlán       | 7                           | 7           | 27         | 6           | -          | -          | 20         | 33          |
| Santa María Visitación    | -                           | -           | -          | -           | -          | -          | -          | 100         |
| Santiago Atitlán          | 10                          | 5           | -          | 32          | -          | 21         | 16         | 16          |
| Sololá                    | 14                          | 71          | -          | -           | -          | -          | -          | 14          |
| <b>Promedio (%)</b>       | <b>12.0</b>                 | <b>21.8</b> | <b>5.9</b> | <b>13.9</b> | <b>0.6</b> | <b>3.8</b> | <b>4.6</b> | <b>37.4</b> |

# Establecimiento de un banco de semillas en UVG-Altiplano y estudio preliminar a nivel molecular de la diversidad del maíz criollo almacenado en el banco

Silvana Maselli, Andrea Navas & Fátima Melgar

Departamento de Biología, Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** Siguiendo normas internacionales para el manejo de semillas en Bancos de Germoplasma y con fines de docencia y conservación, se estableció un banco local de semillas nativas (criollas) de maíz y frijol en la sede de UVG-Altiplano. La colección almacenada en el banco incluye 209 muestras de maíz y 23 de frijol de los 16 Municipios de Sololá, documentadas en una base de datos. El establecimiento del banco incluyó el fortalecimiento de capacidades, a través de talleres teórico prácticos sobre el manejo de las semillas en bancos, dirigido a estudiantes de la carrera de Ingeniería Agroforestal, y al personal técnico del proyecto UVG-USDA, empleando un manual elaborado específicamente para esta actividad. La capacitación a agricultores incluyó tres talleres sobre: buenas prácticas agrícolas, conservación de la agrobiodiversidad, calidad y almacenamiento de semillas para bancos comunitarios. Las muestras almacenadas de maíz, reportadas como de alto rendimiento, se emplearon en un estudio preliminar de diversidad, con fines de uso y conservación, empleando cinco marcadores moleculares microsatélites (SSR). Se identificaron un total de 23 alelos para los cinco loci analizados, y por ser un estudio preliminar con un número insuficiente de muestras por Municipio, para aplicar los parámetros de diversidad genética, se presentan y discuten las tendencias encontradas en las frecuencias alélicas y su distribución.

**PALABRAS CLAVE:** Banco de Semillas, fortalecimiento de capacidades, diversidad molecular, marcadores microsatélites (SSR).

**Seed Bank establishment at UVG-Altiplano, and a preliminary maize, landraces molecular diversity study, of the accessions stored at the Bank**

**ABSTRACT:** The establishment of a Seed Bank in UVG-Altiplano, for teaching and conservation purposes, followed international seed handling techniques for seed banks. The Seed Bank collection stores 209 accessions of native maize and 23 accessions of beans from the 16 Sololá Communities. The accession's passport data was documented in a data base. Capacity building activities were held through workshops for students and technical staff, covering topics related to seed handling and conservation in a

Seed Bank; using a manual specially produced for this purpose. Farmers from two Sololá communities attended three workshops related to good farming practices, agrobiodiversity conservation and seed quality for Communal Seed Bank's storing. High yield stored maize accessions were used to conduct a preliminary diversity study, for conservation and use purposes, using five microsatellites molecular markers (SSR). A total of 23 alleles were identified in the analyzed five loci. Due to an insufficient sample number per Community, no genetic parameters were applied to the analysis, but the tendencies found in the allelic frequencies and their distribution, are discussed.

**KEYWORDS:** Seed Bank, capacity building, molecular diversity, microsatellites markers (SSR)

## Introducción

Dentro del componente milpa del proyecto UVG-USDA se consideró el establecimiento de un banco de semillas con fines de docencia, y para conservar la colección de trabajo de maíz y frijol del proyecto.

El establecimiento de bancos de semillas es considerado dentro de las medidas estratégicas para enfrentar el cambio climático y la inseguridad alimentaria. Actualmente Guatemala carece de un Plan Nacional de conservación, uso y disponibilidad de semillas en caso de desastres; sin embargo el tema es considerado como prioritario, dentro de las recomendaciones del Segundo Informe Nacional sobre el estado de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (FAO 2008); el Informe Mundial sobre estos recursos (FAO 2010) y el Plan de Acción Mundial para la conservación y utilización sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura de la FAO (FAO 2011).

La agrobiodiversidad forma parte de los recursos fitogenéticos que sostienen la base de la seguridad alimentaria en América Latina. Para conservar esta diversidad es necesario desarrollar capacidades sobre la importancia que tiene la conservación en bancos y reservas de semillas, para restablecer los sistemas agrícolas, en casos de emergencias ocasionadas por desastres naturales.

Para contribuir a generar opciones para enfrentar los riesgos del cambio climático a la seguridad alimentaria, a través de la conservación de la agrobiodiversidad nativa, se propuso el establecimiento del banco de semillas de UVG-Altiplano. Los objetivos del banco son: la conservación de las muestras, el desarrollo de capacidades y transferencia de tecnología en el manejo de semillas en bancos; dirigida a estudiantes, agricultores y personal técnico.

Para conservar la agrobiodiversidad nativa y los recursos fitogenéticos, es necesario conocer qué y cuanta diversidad genética se está conservando.. El uso de técnicas de la biología molecular, como los marcadores microsatélites, SSR, pueden contribuir para estudiar, conservar y usar la diversidad genética del maíz nativo (criollo), permitiendo conocer cómo está distribuida esta diversidad en los Departamentos de Guatemala. El conocimiento base de la estructura genética de las colecciones almacenadas en bancos, es importante para la selección de germoplasma para los programas de mejoramiento nacionales, y para generar nuevas variedades con tolerancia a sequía y enfermedades.

En términos de manejo de bancos de germoplasma, debe enfatizarse la conservación de la diversidad genética, en loci claves que controlan características importantes de interés agronómico. Mientras los estudios comparativos aumentan y más características son identificadas genéticamente, la gama de genes funcionales empleados para analizar el germoplasma, también aumentarán. Las técnicas analíticas que ayudarán a revelar la selección en estos loci serán importantes para seleccionar accesiones únicas a incluir dentro de las colecciones *ex situ*, y serán herramientas importantes para asegurarse que la diversidad genética se mantenga a niveles aceptables en el tiempo (Richards 2004).

Para conocer la diversidad, a nivel molecular de las muestras de maíz nativo (criollo) almacenadas en el Banco de semillas de UVG-Altiplano, se realizó un estudio preliminar, empleando cinco marcadores moleculares microsatélites, SSR. Debido al tamaño de las muestras colectadas por Municipio (2-7), no se pudo hacer un análisis estadístico empleando parámetros de diversidad genética, pero si fue posible explorar la diversidad de los alelos, su frecuencia y distribución en los Municipios donde se encuentran. La información que se generó es parte de los pasos recomendados para la conservación y uso posterior de germoplasma nativo de maíz, en programas de mejoramiento genético; además de contribuir al conocimiento de la diversidad genética del maíz en Guatemala.

## Métodos

### Identificar y documentar la diversidad de maíz y frijol en el área de cobertura del proyecto

La información de las muestras de maíz y frijol proporcionadas por agricultores de los 16 Municipios de Sololá (datos de pasaporte), se integró y documentó en una base de datos que contiene la siguiente información:

- Número de registro y de accesión de la muestra
- Nombre del agricultor que proporcionó la muestra

- Origen de la semilla, diversidad (color, tamaño, raza o variedad), tiempo de permanencia de la semilla en la familia.
- Porcentaje de germinación y humedad de las muestras a almacenar en el banco.
- Peso inicial y final de las semillas, después de su respectivo secado a 8% de humedad.
- Identificación de las muestras empleadas en el estudio de diversidad molecular.

### Establecimiento de un banco local de semillas en UVG-Altiplano

#### Secuencia operativa para bancos de semillas

El banco se estableció siguiendo la secuencia operativa y procedimientos establecidos a nivel internacional, por Bioversity International (Rao *et al.* 2006), para bancos de semillas y germoplasma. La secuencia operativa incluye los siguientes pasos:

- Documentación y limpieza de las muestras
- Ensayos de germinación
- Ensayos de determinación de humedad (% de humedad relativa, HR)
- Secado de las semillas (hasta 8% de humedad)
- Almacenamiento de las semillas a temperatura ambiente en UVG-Altiplano

Los ensayos de germinación se hicieron bajo condiciones controladas (20/30 °C por 8/16 horas, sin luz) en una cámara de germinación. Los ensayos de determinación de humedad se realizaron con el método de temperatura de horno alta y constante recomendado para maíz y frijol (Rao *et al.* 2007). El secado de las semillas a 8% se realizó con el método de gel de sílica (Rao *et al.* 2007). Las semillas secas se almacenaron en frascos de vidrio en el Banco de Semillas de UVG-Altiplano, bajo condiciones de temperatura ambiente (19-21°C) y 40% de humedad relativa en el cuarto de secado. Las condiciones de almacenamiento en el Banco se monitorearon con un termómetro de pared y empleando un deshumidificador.

### Elaboración de un manual técnico para el manejo de las semillas en el Banco

Se elaboró un manual técnico-operativo, adaptado a las condiciones del Banco UVG-Altiplano, para el manejo de las semillas. El manual se elaboró siguiendo las normas internacionales para bancos de semillas y de germoplasma (Rao *et al.* 2007), y su contenido fue validado por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal de UVG-Altiplano, durante el Taller de manejo de semillas.

#### Desarrollo de capacidades y transferencia de tecnología para estudiantes, y equipo técnico del proyecto

El desarrollo de capacidades y transferencia de tecnología para el manejo de semillas en bancos, se hizo a través de un Taller teórico-práctico que se realizó en UVG-Altiplano, dirigido a estudiantes y personal técnico del proyecto.

### Alianzas estratégicas con otros proyectos para la capacitación de agricultores

El desarrollo de capacidades en el tema de establecimiento de Bancos Comunitarios de semillas, se hizo a través de tres talleres, cubriendo los siguientes temas.

- **Taller I:** Inmersión y estructura comunitaria y organizacional para establecer Bancos de Semillas
- **Taller II:** buenas prácticas agrícolas y conservación de la agrobiodiversidad en Bancos Comunitarios de Semillas
- **Taller III:** calidad de semilla para conservación en Bancos Comunitarios

Los talleres para agricultores se realizaron a través de una alianza estratégica con otro proyecto que ejecuta la UVG (Bancos de Semillas FAO 44001), financiado por el Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura de la FAO.

### Estudio de diversidad empleando marcadores moleculares microsatélites (SSR)

Con fines de conservación y para conocer la diversidad de maíz almacenada en el Banco de Semillas, se seleccionaron 48 muestras de maíz, identificadas como de alto rendimiento por los agricultores participantes en el proyecto. De cada muestra se tomaron al azar cuatro semillas que se sembraron en invernadero bajo las siguientes condiciones:

- **Sustrato:** 35% de tierra negra, 35%<sup>a</sup>, 30% de arena.
- **Fertilizantes de suelo:** 2-12-17 + 2<sup>b</sup> para elementos menores. Aplicación a la tercera semana: 20-20-20 (N, P, K)<sup>c</sup>.
- **Tratamiento para plagas de suelo:** 50 cc/10 lt agua<sup>d</sup>, 50 cc/10 lt agua<sup>e</sup>.

Cuando las plantas alcanzaron las seis semanas, se cortaron muestras de las hojas que se almacenaron a -20°C, hasta su uso. Se extrajo el ADN de las muestras siguiendo el protocolo de Doyle y Doyle (1990) y el protocolo del Laboratorio de Genética Molecular Aplicada del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT (1998).

Para obtener productos de amplificación se empleó la técnica de Reacción en Cadena de la Polimerasa, PCR, con cinco marcadores moleculares microsatélites (SSR: Umc 1061, Umc 1136, Phi 024, Phi 029, Phi 034). Los marcadores se seleccionaron en base a reportes de literatura sobre locus relacionados a tolerancia a sequía y alto rendimiento. Los productos de amplificación se revelaron empleando geles de poliacrilamida al 6% y tinción de nitrato de plata al 0.2%, siguiendo el protocolo del Laboratorio de Genética Molecular Aplicada del CIMMYT. Para este estudio el CIMMYT donó ADN de dos líneas de maíz: CML 292 y CML 051, para correr en los geles como controles positivos y ayudar en la identificación de los alelos. Como marcador de peso molecular se usó el  $\phi$ X174/Hae III de la marca Sigma, empleado también por CIMMYT para este tipo de estudios.

Las bandas obtenidas en los geles se documentaron por medio de fotos y el análisis de la diversidad molecular de las muestras se hizo con el programa GenAlex 6.5 (Peakal & Smouse 2012), (<http://biology.anu.edu.au/GenALEX/Download.html>).

El revelado de los fragmentos de ADN muestreado sobre geles de poliacrilamida, ha sido ampliamente usado y documentado en la literatura por más de una década; por lo que los resultados que se obtienen con esta técnica, son confiables. Además es la técnica de elección, cuando no se cuenta con un secuenciador automático.

### Análisis de la diversidad

Para realizar un análisis completo de diversidad genética se debe emplear un mínimo de 40 individuos por población. Las muestras colectadas para el banco por Municipio fueron entre 2-7, por lo que para emplear el programa de GenAlex 5.6, se evaluaron los resultados de los Municipios con 5 o más muestras. Al tratarse de un estudio preliminar, por el número de muestras, no se pueden emplear parámetros de diversidad genética para evaluar cuánta diversidad se almacenó en el Banco. Sin embargo el conocimiento de los alelos identificados y su distribución son importantes para los programas de mejoramiento, para tomar decisiones sobre la conservación *in situ* y *ex situ* de estos recursos, e implican la generación de información sobre los maíces criollos de Guatemala.

### Resultados

#### Identificar y documentar la diversidad de maíz y frijol en el área de cobertura del proyecto

La información de las muestras de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris*, *P. coccineus*). se integró y documentó en una base de datos que incluye: 209 accesiones de maíz y 23 de frijol. La base de datos incluye información sobre: el número de accesión, nombre del agricultor que la cultiva, Municipio donde se cultiva, diversidad fenotípica de las semillas, resultados de los ensayos de germinación y de humedad.

#### Establecimiento de un banco local de semillas en UVG-Altiplano

Un total de 209 muestras de maíz y 23 de frijol fueron almacenadas en el banco de UVG-Altiplano bajo condiciones de temperatura ambiente (19-21°C) y 40% de humedad relativa. Estudiantes de la UVG-Central participaron en las actividades y ensayos de la secuencia operativa, así como en el almacenamiento de las semillas en el Banco (Gráficas 1, 2 y 3).

<sup>a</sup>Peat moss, <sup>b</sup>Bankur, <sup>c</sup>Aminoleaf, <sup>d</sup>Banrot-Scotts, <sup>e</sup>Virkons-Bayer





**Gráfica 1.** Equipo básico e instalaciones del Banco de Semillas de UVG-Altiplano



**Gráfica 2.** Estudiantes de la UVG-Central, participaron en la secuencia operativa del Banco



**Gráfica 3.** Estudiantes de la UVG-Central, almacenando muestras en el Banco

### **Desarrollo de capacidades y transferencia de tecnología para estudiantes, equipo técnico del proyecto y agricultores**

48 estudiantes de UVG-Altiplano, dos técnicos y dos estudiantes del Campus Central, participaron en el Taller teórico práctico de capacitación en el manejo de semillas en Bancos. Una media de 15-20 agricultores asistieron por taller a los tres talleres de capacitación impartidos para establecer Bancos Comunitarios de Semillas en dos comunidades de Sololá. (Las Canoas Bajas en San Andrés Semetabaj y Ojo de Agua, San Antonio Palopó) (Gráficas 4, 5, 6 y 7).



**Gráfica 4.** Capacitación teórica a estudiantes sobre manejo de semillas en Bancos



**Gráfica 5.** Práctica de laboratorio sobre ensayos y secuencia operativa para el manejo de semillas en Bancos



**Gráfica 7.** Capacitación sobre calidad de semilla para almacenamiento en Bancos Comunitarios en San Andrés Semetabaj.



**Gráfica 6.** Capacitación a agricultores de San Antonio Palopó y San Andrés Semetabaj sobre el manejo de Semillas en Bancos Comunitarios

### Estudio molecular empleando marcadores moleculares microsatélites (SSR)

En el Cuadro 1 se presentan las muestras empleadas para el estudio molecular y que se encuentran almacenadas en el Banco de Semillas de UVG-Altaplano.

### Análisis de bandas

Para identificar los alelos (tamaño del fragmento, bp) presentes en las muestras de maíz almacenadas en el Banco de semillas, se emplearon todas las muestras de las que se obtuvieron bandas visibles y evaluables. Sin embargo para conocer la frecuencia de los alelos y su distribución entre los Municipios, se emplearon, para que corriera el programa GenAlex, sólo aquellos Municipios que tenían cinco o más muestras.

El Cuadro 2 muestra los marcadores empleados en el estudio, su localización en el genoma y los alelos identificados en cada uno de estos locus para los 16 Municipios de Sololá.

Las bandas obtenidas en cada gel corresponden a cada uno de los individuos de cada muestra. Se analizaron midiendo la distancia de migración de cada banda, de acuerdo al procedimiento descrito por CIMMYT en el Manual de aplicaciones de los marcadores moleculares al mejoramiento de plantas (1996). Se empleó también la información de *Maize Standard Alleles* de Ambionet ([www.cgiar.org/ambionet](http://www.cgiar.org/ambionet)). Cada banda representa un alelo con un tamaño (bp) comparable al de las bandas del marcador de peso molecular (X174/ Hae III) y al de las bandas del ADN control de CIMMYT (CML 292), lo que hace posible medir su distancia de migración para poderlo nombrar. La banda se nombra en base al tamaño (bp) del marcador y del ADN control. Este tipo de análisis permite también diferenciar a los individuos homocigotas, que aparecen en el gel con sólo una banda, de los heterocigotas que aparecen con dos. Se excluyeron del análisis bandas con mala resolución y bandas cuya distancia de migración fuera difícil de determinar.

Los locus más polimórficos fueron el Umc 1061 y el Umc 1136, con seis alelos cada uno. Mientras que el Phi 029 fue el menos polimórfico con sólo dos alelos. Para el locus Umc1061 los alelos con mayor distribución en los 16 municipios analizados fueron el 104 y el 101. Para el locus Umc 1136 no se mostró una diferencia marcada de distribución entre los seis alelos identificados. El alelo 170 del locus Phi 024 se encontró distribuido en 13 de los 16 Municipios, siendo este alelo el más ampliamente distribuido de todos los identificados. El valor de P (número de loci polimórficos = 100%), indicando, con el número de muestras evaluado, una alta diversidad de alelos y de riqueza alélica, que se corresponde con la diversidad fenotípica (color y forma de grano, tamaño y forma de las mazorcas), observada en las muestras. Este dato sin embargo deberá confirmarse con un número mayor de muestras, como se indicó anteriormente y con la aplicación de los parámetros de diversidad genética.

La identificación de alelos es importante, para caracterizar las colecciones de Bancos de Semillas, y para conocer su ubicación en los cromosomas. Estudios más avanzados, de mapeo genético, han permitido identificar QTL (locus con rasgos cuantitativos continuos) en regiones específicas de los cromosomas, y relacionar a alelos específicos con estas regiones. Dentro de estos estudios se citan los del análisis de la diversidad genética de la tolerancia a sequía de maíz, empleando marcadores moleculares de Sari-Gorla (1999), y los de Ribout *et al.* (1996 y 1997). En estos estudios se identificaron a los cromosomas 1, 2, 4, 5, 7, 8 y 9 como directamente relacionados a la expresión



**Cuadro 1.** Muestras empleadas en el estudio molecular

| No. de entrada | Nombre Común/Fenotipo                                             | Agricultor                                                  | Municipio                                 |
|----------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 8              | blanco/poco grano negro, semilla muy grande, material interesante | Ricarda Valeria Estacuy                                     | Las Esperanzas, Sta. Lucía Utatlán        |
| 9              | amarillo/grano largo diferente                                    | Ricarda Valeria Estacuy                                     | Las Esperanzas, Sta. Lucía Utatlán        |
| 32             | mazorca con grano blanco y amarillo                               | Cruz Coj Guarchaj                                           | Cantón Patzite, Nahualá                   |
| 37             | amarillo pálido                                                   | Catarina Guarchac                                           | Cantón Patzité, Nahualá                   |
| 38             | amarillo                                                          | Melchor Julio Tzoc                                          | Nahualá                                   |
| 43             | blanco con grano de color, amarillo                               | María Ofelia Quex García                                    | Barrio Tsantzir Alto, Sn. Andrés          |
| 44             | blanco, SALPOR                                                    | María Ofelia Quex García                                    | Barrio Tsantzir Alto, Sn. Andrés          |
| 55             | mezcla, blanco amarillo, rosado                                   | Luis Encarnación                                            | Sta. María Tecún                          |
| 56             | amarillo rojo                                                     | Ceferino Martín Pacheco                                     | Sta. María Tecún                          |
| 57             | mezcla amarillo rojo                                              | Manuel Margarito Talé Menchú y Sabino Santiago Talé García, | Sta. María Tecún                          |
| 58             | mezcla amarillo, rojo rosado                                      | Apolonio Antonio Menchú                                     | Sta. María Tecún                          |
| 60             | amarillo /grano muy grande                                        | María Micaela Yac                                           | Churrumil, Sta. Lucía Utatlán             |
| 61             | amarillo                                                          | Julián Chávez                                               | Churrumil, Sta. Lucía Utatlán             |
| 63             | amarillo                                                          | Francisca Juana Tzul Maz                                    | Churrumil, Sta. Lucía Utatlán             |
| 67             | negro                                                             | Inocente Jacinto ajpuac                                     | Xejusjú. Sn. Antonio Tolimán              |
| 68             | mezcla amarillo pálido y oscuro                                   | Inocente Jacinto ajpuac                                     | Xejusjú. Sn. Antonio Tolimán              |
| 73             | amarillo                                                          | Alvaro Emilio Archila                                       | Pacamán 1, Sn Lucas Tolimán               |
| 77             | mezcla blanco, amarillo negro                                     | Josefina Ajsibinac                                          | Pacamán 1, Sn Lucas Tolimán               |
| 79             | blanco con pocos granos oscuros                                   | Pedro González                                              | San Pedro                                 |
| 83             | amarillo                                                          | Magdalena González Salquil                                  | San Pedro                                 |
| 84             | blanco                                                            | Juan Penchú González                                        | San Pedro                                 |
| 86             | rojo                                                              | Nicolasa Ermelinda                                          | San Pedro                                 |
| 92             | negro                                                             | Pablo Velásquez Ixcol                                       | Aldea Paquip, Sta. Clara                  |
| 94             | blanco                                                            | Miguel To Tzaj                                              | Paquip, Sta. Clara la Laguna              |
| 100            | amarillo                                                          | Pedro Emanuel Mazariegos                                    | Sta. Clara, La Laguna                     |
| 101            | amarillo                                                          | Luis Mazariegos Velásquez                                   | Sta. Clara, La Laguna                     |
| 106            | negro                                                             | Dolores Pacay                                               | Cerro de Oro, Santiago Atitlán            |
| 110            | blanco                                                            | Dolores Chay                                                | Santiago Atitlán                          |
| 116            | amarillo                                                          | José Sicay                                                  | Cerro de Oro, Santiago Atitlán            |
| 119            | amarillo                                                          | Tomás Ajpuac                                                | Cerro de Oro, Santiago Atitlán            |
| 126            | mezcla blanco, negro, amarillo                                    | Enrique Santiago Ujpan Velásquez                            | Palestina, Sn. Juan la Laguna             |
| 137            | amarillo                                                          | Concepción Ixcaya guajan                                    | Cristalinas, Sn. Pablo la Laguna          |
| 142            | amarillo                                                          | Ana Isabel tuy Ben                                          | Sector Sn. Francisco, Concepción          |
| 159            | amarillo                                                          | Francisco Catincuc                                          | Caserío Chuoxajil, Sta. María Ixtahuacán. |
| 160            | amarillo                                                          | Manuel de Jesús Xocholij                                    | Caserío Chuoxajil, Sta. María Ixtahuacán. |
| 176            | blanco                                                            | Irma Cojón González                                         | Santa Catarina Ixtahuacán                 |
| 177            | blanco                                                            | Juan Catinac T                                              | Santa Catarina Ixtahuacán                 |
| 186            | blanco                                                            | Juan Catinac Tambriz                                        | Santa Catarina Ixtahuacán                 |
| 187            | blanco                                                            | Lorenzo Peruchu Peruchu                                     | Santa Catarina Ixtahuacán                 |
| 188            | blanco                                                            | Hilda Lucrecia Ramirez Baquin                               | Sololá                                    |
| 189            | amarillo                                                          | Lucía Juracán                                               | Concepción                                |
| 190            | blanco                                                            | Esteban Chumil Meneta                                       | Sololá                                    |
| 178            | amarillo/poca semilla                                             | Pascuala Xocom                                              | Santa Catarina Ixtahuacán                 |
| 179            | negro                                                             | Pascuala Xocom                                              | Santa Catarina Ixtahuacán                 |
| 180            | blanco                                                            | Pascuala Xocom                                              | Santa Catarina Ixtahuacán                 |
| 181            | blanco                                                            | Francisca Tzepziquin                                        | Santa Catarina Ixtahuacán                 |
| 182            | amarillo                                                          | Francisco Guarchac Guarchac                                 | Santa Catarina Ixtahuacán                 |

**Cuadro 2.** Alelos identificados en los cinco locus analizados en las muestras de maíz de los 16 Municipios de Sololá

| Microsatélites/locus  | Localización en el genoma | Tamaño de fragmento (bp)/alelos identificados |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|
| Umc 1061 <sup>a</sup> | Región 6 cromosoma 10     | 98, 101, 104, 107, 108, 110                   |
| Umc 1136 <sup>b</sup> | Cromosoma 3               | 170, 167, 162, 160, 155, 145, 135             |
| Phi 024 <sup>b</sup>  | Region 1 cromosoma 5      | 172, 170, 168                                 |
| Phi 029 <sup>b</sup>  | Region 4 cromosoma 3      | 152, 150, 149, 148                            |
| Phi 034 <sup>b</sup>  | Región 2 cromosoma 7      | 146, 145, 130, 118                            |

<sup>a</sup> Locus asociados con la expresión del intervalo ASI (período de floración masculina y femenina), intervalo directamente relacionado con tolerancia de sequía.

<sup>b</sup> Locus asociado a características de alto rendimiento

**Cuadro 3.** Distribución de los alelos en los 16 municipios

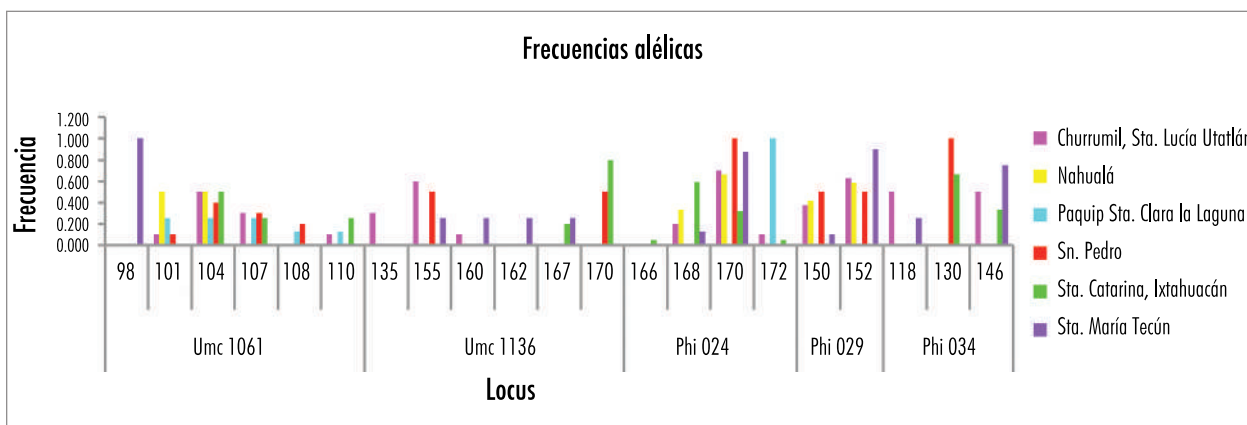
| PRIMER   | ALELOS | No. de Municipios en los que se encontró el alelo |
|----------|--------|---------------------------------------------------|
| Umc 1061 | 110    | 3                                                 |
|          | 108    | 2                                                 |
|          | 107    | 6                                                 |
|          | 104    | 10                                                |
|          | 101    | 11*                                               |
|          | 98     | 5                                                 |
| Umc 1136 | 170    | 3                                                 |
|          | 167    | 2                                                 |
|          | 162    | 2                                                 |
|          | 160    | 3                                                 |
|          | 155    | 3                                                 |
|          | 135    | 2                                                 |
|          | 172    | 4                                                 |
| Phi 024  | 170    | 13*                                               |
|          | 168    | 5                                                 |
|          | 152    | 8                                                 |
| Phi 029  | 150    | 11*                                               |
|          | 146    | 7                                                 |
| Phi 034  | 143    | 1                                                 |
|          | 136    | 1                                                 |
|          | 130    | 2                                                 |
|          | 118    | 3                                                 |

\*Alelos mayormente distribuidos en los 16 municipios

del intervalo ASI (intervalo entre la floración masculina y femenina) en maíz y directamente relacionado a la tolerancia a sequía. En nuestro caso se obtuvo información de los alelos presentes en los cromosomas 4, 5 y 7; también relacionados con la expresión del intervalo ASI.

A diferencia del Cuadro 3, donde aparece la distribución de todos los alelos en los 16 Municipios, la Gráfica 8 se presenta como referencia de cómo se calcularon las frecuencias alélicas, en aquellos Municipios donde se colectaron de cinco muestras en adelante.

La Gráfica 4 muestra la distribución de los alelos en los Municipios específicos y es congruente con la información presentada y comentada para el Cuadro 3, donde se observa al alelo 170 del locus Phi 024, como el de más amplia distribución en los seis Municipios evaluados con el programa GenAlex 6.5. La Gráfica 9 permite observar la distribución geográfica de los cinco municipios evaluados, que por su proximidad y posible flujo de genes e intercambio de semillas entre agricultores, podrían explicar la amplia distribución observada para el alelo 170.



**Gráfica 8.** Frecuencias alélicas obtenidas por Municipio





Gráfica 9. Municipios del Departamento de Sololá.

Los resultados que se presentan en la Gráfica 10 son preliminares e indicativos de la tendencia de la heterocigosidad que se obtuvo con los resultados analizados para 5 Municipios. Estos resultados no son definitivos, debido a que se necesitan 40 individuos por muestra para calcular los parámetros de diversidad genética y la diversidad genética total. Sin embargo la figura nos permite observar el número de heterocigotas esperados para las muestras y Municipios analizados.

La comunidad de Churrumul en Santa Lucía Utatlán presentó los números más altos de individuos heterocigotas, así como de alelos efectivos, indicando con los valores obtenidos, una posible alta diversidad genética.

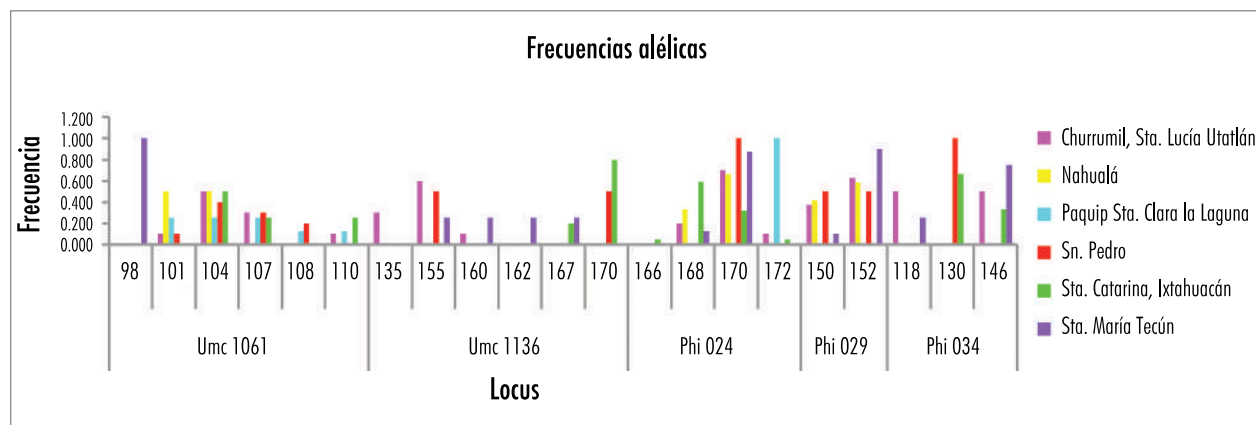
## Discusión

### Análisis de la diversidad molecular

Los resultados obtenidos, siendo aún preliminares, permiten analizar tendencias en el patrón de las frecuencias alélicas y la distribución de los alelos en los 16 Municipios. Estos resultados de diversidad molecular preliminar, con un 100% de porcentaje de locus polimórficos y de riqueza alélica (4.6 alelos por locus), indican una tendencia a una alta diversidad genética, que tendrá que corroborarse con un mayor número de muestras para poder aplicar los parámetros de diversidad genética. La diversidad fenotípica observada, a nivel de forma y color de granos y de mazorcas, de las muestras analizadas molecularmente, apuntan también a una posible alta diversidad. Esta diversidad es mantenida y favorecida a nivel de campo por la selección que los agricultores hacen al sembrar sus semillas con diferentes características y adaptadas a esas áreas, en diferentes campos, en un mismo gradiente altitudinal (van Eaten 2006).

Los alelos identificados en cuatro de los locus (Umc 1061, Phi 024, Phi 029 y Phi 034) fueron similares a los identificados en un estudio que analizó los mismos locus (Maselli *et al.* 2006), con muestras provenientes de regiones secas de siete departamentos de Guatemala (El Progreso, Jalapa, Zacapa, Chiquimula, Huehuetenango, y Baja Verapaz). Las diferencias entre ambos estudios incluyen alelos (Umc 1061: 173, 137 y 134) presentes en las regiones secas y ausentes en Sololá y un alelo (Umc 1061: 108) presente solamente en Sololá.

Los resultados moleculares e información que se generó con este estudio permiten ampliar el conocimiento de la estructura genética del maíz criollo de Guatemala y de la distribución y frecuencia de los alelos que la conforman. Esta información es importante para apoyar y emplearse en un Plan Nacional de conservación de Recursos Fitogenéticos y puede también utilizarse por los mejoradores de maíz del país.



Gráfica 8. Frecuencias alélicas obtenidas por Municipio

## Establecimiento de un banco de semillas en UVG-Altiplano

Las actividades realizadas dentro de este componente permitieron establecer un Banco de Semillas con fines de docencia y conservación, aplicando la secuencia operativa y las normas internacionales para el manejo de semillas en Bancos de Germoplasma. El fortalecimiento de capacidades en este tema, dirigido a estudiantes y personal técnico de la UVG central y Campus Altiplano, permitirá que los estudiantes adquieran experiencia en el manejo de las semillas, al encargarse ellos mismos de la secuencia operativa del Banco, cumpliendo así con los fines docentes del Banco. El manual que se generó con el proyecto permitirá facilitar el manejo del Banco a las siguientes generaciones de estudiantes.

Con el establecimiento del Banco de Semillas, la UVG está promoviendo el conocimiento en este importante y prioritario tema, y contribuyendo a la conservación de los recursos fitogenéticos y el patrimonio genético del país.

## Agradecimientos

Al Dr. Rolando Cifuentes por gestionar y facilitar la ejecución del proyecto y sus actividades. A Aracely Bolvito, Secretaria del Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios, por apoyar en todo lo relacionado a la ejecución del proyecto. Al personal técnico del proyecto UVG-USDA: Ing. Edwin de León, Inga. Sofía Gómez, Ing. Josué Ajcalón, Ing. Daniel de León, e Ing. Luis Arévalo, por facilitar y colaborar para realizar las capacitaciones a los estudiantes y agricultores. A las estudiantes Andrea Navas y María José Larrave por participar en las actividades y ensayos de la secuencia operativa para establecer el Banco de Semillas y en la extracción de ADN de las muestras de maíz para el estudio molecular. A la Inga. Fátima Melgar por apoyar las actividades y ensayos de la secuencia operativa para establecer el Banco, y las actividades del estudio molecular. A la Licda. Margarita Palmieri y Licda. Elena Dardón por facilitar el equipo y materiales para el estudio molecular.

## Bibliografía

- Doyle JJ, Doyle JL (1990) *Isolation of plant DNA from fresh tissue* Focus 12: 13-15
- CIMMYT (1996) *Molecular marker applications to plant breeding* Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, México DF
- CIMMYT (1998) *Laboratory protocols Applied Molecular Genetics* Laboratory, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, México DF
- CIMMYT (1999) *Taller de acercamientos moleculares para el mejoramiento genético de cereales para la producción estable en ambientes secos* realizado en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT, México DF. Disponible en: [www.cimmyt.org/ABC/map/research\\_tools\\_results/wsm.../WSdroughtFinalRepAtt1.ht](http://www.cimmyt.org/ABC/map/research_tools_results/wsm.../WSdroughtFinalRepAtt1.ht)
- FAO (2008) *Segundo informe nacional sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura de Guatemala* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Guatemala

- FAO (2010). *El segundo Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en el mundo* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/014/i1500s/i1550s.pdf>.
- FAO (2011) *Second global Plan of Action for the Conservation and Sustainable Utilization of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. Disponible en <http://www.fao.org/do-crep/015/i2624e00.htm>.
- Maselli S, Fuentes M, Zea JL (2006) Colección, evaluación, caracterización agronómica y molecular con microsatélites (SSR) de germoplasma de maíz (*Zea mays* L.) con tolerancia a sequía Informe de Proyecto No. 010-02, línea AGROCYT del CONCYT, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, ICTA. Bárcena, Villa Nueva, Guatemala
- Rao NK, Hanson J, Dooloo ME, Ghosh K, Novell D, Larinde M (2007) *Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma* Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8 Bioversity International, Roma
- Ribaut JM, Jiang C, González-de-León D, Edmeades GO, Hoisington DA (1997) Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize. 2. Yield components and marker-assisted selection strategies Theor Appl Genet 94:887-896
- Ribaut JM, Hoisington DA, Deutsch JA, Jiang C, González-de-León D. (1996) Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize. 1. Flowering parameters and the anthesis-silking interval Theor Appl Genet 92:905-914
- Richards C (2004) Molecular technologies for managing and using genebank collections In: The evolving role of genebanks in the fast-developing field of molecular genetics MC de Vicente (Ed) pp. 19-25, International Plant Genetic Resources Institute, Rome
- Sari-Gorla M, Krajewski P, Di Fonzo N, Villa M, Frova C (1999) Genetic analysis of drought tolerance in maize by molecular markers. II. Plant height and flowering Theor Appl Genet 99:289-295
- Peakall R, Smouse PE (2012) GenAEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update Bioinformatics 28: 2537-2539
- Van Eaten J (2006) Changes in farmers' knowledge of maize diversity in highland Guatemala, 1927/37-2004 Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 2:12 doi:10.1186/1746-4269-2-12 <http://www.ethnobiomed.com/content/2/1/12>

# El potencial del sorgo dulce como fuente de energía y proteína<sup>a</sup>

Rolando Cifuentes<sup>1</sup>, Ricardo Bressani<sup>2</sup>, & Carlos Rolz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios Agrícolas y Forestales, <sup>2</sup>Centro de Estudios en Ciencias y Tecnología de Alimentos, <sup>3</sup>Centro de Ingeniería Bioquímica, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** Se plantaron seis variedades de sorgo dulce en la Costa Sur de Guatemala y se determinaron el rendimiento y contenido de azúcares del tallo, la productividad de etanol, como también, la composición química y las características nutricionales del grano, con el objetivo general de agrupar las variedades que mostraran una productividad de etanol alta y a su vez, tuviesen adecuadas características nutricionales del grano. La variedad Top 76-6 fue superior en ambos términos. Dicha variedad mostró una producción de 42.15 Mg de tallo fresco por hectárea y 2.36 Mg de grano seco por hectárea. La productividad de etanol fue de aproximadamente 220 g etanol por kg de tallo seco, equivalente a 2,465 litros de etanol por hectárea. El grano tuvo el menor contenido de polifenoles y una adecuada calidad de la proteína, mostrando un PER igual a 1.07 y un 83.2 % de digestibilidad.

**PALABRAS CLAVE:** Sorgo dulce, Rendimiento del tallo, Rendimiento del grano, Contenido de azúcar, Productividad del azúcar, Productividad del etanol, PER del grano, Digestibilidad de la proteína.

## The potential of sweet sorghum as a source of ethanol and protein

**ABSTRACT:** Six sweet sorghum varieties were sowed in the Guatemalan Pacific coastal plains in order to determine their stalk yield and sugar content, the ethanol productivity, as well as, the chemical composition and nutritional characteristics of the grain, with the general objective of matching varieties with adequate ethanol productivity and with appropriate nutritional characteristics of the grain. The Top 76-6 variety gave the best combined outcome, high ethanol productivity and the best grain protein quality. The stem and grain average yields obtained were 42.15 Mg of fresh stalk/ha and 2.36 Mg dry grain/ha, respectively. The average ethanol productivity was 220 g ethanol per kg. of original dry stem, equivalent to 2,465 liters of ethanol per ha. The grain had the lowest polyphenol levels and an adequate relative protein quality indicated by a 1.07 PER value and a 83.2 % protein digestibility.

**KEY WORDS:** Sweet sorghum, Stem yield, Grain yield, Sugar content, Sugar productivity, Ethanol productivity, Grain PER, Protein digestibility

## Introducción

El planeta depende exclusivamente del petróleo para obtener los combustibles empleados en el transporte. Este recurso natural se agota y tiene un límite, no importando las nuevas tecnologías para su extracción o el descubrimiento de nuevos depósitos. Es necesario desarrollar fuentes alternas que sean económicamente factibles y tecnológicamente robustas. Los denominados biocombustibles de primera generación, léase el etanol y los ésteres metílicos o etílicos de los ácidos grasos se utilizan en varios países para ser mezclados con la gasolina y con el diesel respectivamente. En su producción se emplea tecnología confiable, la cual se encuentra ampliamente disponible, y lo que es importante, estas fuentes de energía poseen ventajas inherentes. Promueven el desarrollo agrícola, crean empleos, son carbono neutro y reducen las emisiones gaseosas. También tienen desventajas. Primero, emplean productos alimenticios como materias primas, lo cual consecuentemente afecta el suministro de alimentos y altera los precios en el mercado. Segundo, la tierra que generalmente se usaría para incrementar la producción de alimentos, o el área boscosa, se emplearía para producir los combustibles, lo cual llevaría a estimular la deforestación, la pérdida de biodiversidad y al aumento de las emisiones de gases de invernadero. Tercero, el incremento en el uso de la tierra resultaría en un deterioro ambiental debido al intenso uso de fertilizantes inorgánicos y plaguicidas que causaría mayor contaminación de las aguas superficiales.

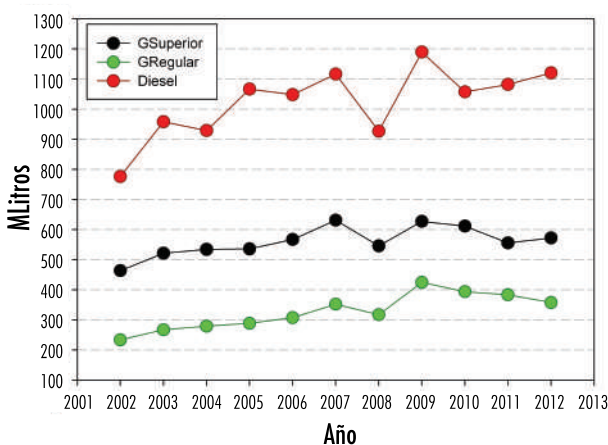
Encontrar un cultivo que evite las desventajas anteriores es un reto mayúsculo. Las plantas ricas en azúcar, especialmente aquellas que pueden denominarse como de multipropósito, como el sorgo dulce o azucarado (*Sorghum bicolor* (L.) es para muchos la mejor alternativa (Rooney et al. 2007; Prasad et al. 2007; Zhang et al. 2010; Linton et al. 2010; Yu et al. 2012). El sorgo o maicillo se encuentra en el quinto lugar de los cereales producidos mundialmente. Dependiendo de su variedad, produce diversos productos. Los sorgos que son eficientes productores de granos se emplean en la alimentación humana, los forrajeros en la alimentación animal, y los dulces o azucarados para producir miel. Esta última variedad acumula en su tallo al madurar una alta concentración de azúcar. El

<sup>a</sup> Se ha publicado una versión en la revista *Energy for Sustainable Development* 21 (2014) 13-19

sorgo posee un mecanismo fotosintético bastante eficiente y aprovecha al máximo los nutrientes del suelo. Requiere menos agua que la caña de azúcar y es tolerante tanto a la sequía como a las inundaciones. Tiene un ciclo corto de crecimiento y desarrollo y es capaz de retoñar varias veces. En un estudio reciente en el cual se compararon varias materias primas para producir etanol combustible, la caña de azúcar en Brasil y el sorgo dulce en China, resultaron ser las opciones mejores, ya que en ambos casos se mostraba el uso más eficiente de la tierra, el nitrógeno, el agua y la energía (de Vries et al. 2010).

Existen varias maneras de introducir al sorgo en la agricultura tropical. Una de ellas consistiría en incorporar el sorgo dulce a la operación normal de la industria cañera. Es decir, plantar el sorgo de manera que se coseche y que se emplee en las destilerías que procesan melaza, en el intervalo de tiempo en donde no hay zafra, logrando de esta manera que dichas plantas funcionen durante todo el año (Woods, 2001; Guigou et al. 2011). Otro escenario sería el de plantaciones de sorgo dulce en diferentes zonas del país, las cuales surtirían de materia prima a pequeñas biorefinerías (Bruins y Sanders, 2012), las cuales producirían etanol y productos alimenticios del grano del sorgo.

Guatemala es un país importador neto de combustibles líquidos derivados del petróleo, tal como puede apreciarse en la Gráfica 1. Las cifras mostradas indican un consumo actual de las gasolinas y el diesel del orden de los 2,000 Giga litros por año. Por otro lado, el país en años recientes ha mantenido una exportación de etanol combustible de aproximadamente 150 Mega litros por año, producidos en cinco destilerías que utilizan melazas de caña únicamente en tiempo de la zafra, aproximadamente 130 días al año. No es el propósito de este trabajo analizar porque existe esta disyuntiva, sino que, por el contrario ofrecer una alternativa a la caña de azúcar con el sorgo dulce, el cual, según la información existente, puede sembrarse en una amplia gama de microclimas, aun en tierras marginales, requiere menos fertilización y es más tolerante a la sequía e inundaciones que la caña de azúcar.



Gráfica 1. Importaciones de gasolinas superior y regular y diesel en el periodo 2002 al 2012

El presente estudio fue realizado para cumplir dos importantes objetivos. Primero, se deseaba cuantificar el rendimiento de algunas variedades de sorgo dulce expuestas a las condiciones ambientales, las características del suelo y a las prácticas agrícolas de la región cañera del país en la Costa Sur. Segundo, la identificación de aquellas variedades que tuviesen un rendimiento aceptable de etanol a la par de producir un grano de adecuadas características nutricionales. Este planteamiento dual coincide con la visión general de buscar una seguridad energética y alimenticia en forma simultánea y en la literatura consultada raramente se ofrecen detalles de cómo lograrla.

## Metodología

*Variedades empleadas, localidades y diseño experimental agrícola.* Se plantaron las variedades de sorgo dulce Dale, Della, M81E, Top 76-6, Sugar Drip y Umbrella, previamente ensayadas en el año 2009 (Rolz Asturias et al, 2010) en el mes de Febrero del 2011 en dos localidades, la finca privada El Paraíso en Coteles, Suchitepéquez, a una altitud de 182 msnm, identificada en este trabajo con la letra P, y en la estación experimental agrícola de la UVG en Campo Sur, Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla, a una altitud de 300 msnm, identificada con las letras CS. El tipo de suelo en P fue clasificado como un Inceptisol y en CS como un Andisol. El primero es un suelo joven y el segundo es de origen volcánico.

En ambos sitios se empleó un diseño de bloques completo al azar con tres réplicas. En cada unidad experimental se sembraron pilones de 30 días espaciados por 20 cm, en 4 filas de 4 m de largo y una distancia entre filas de 0.5 m, lo cual implicaba una densidad de 100,000 plantas por hectárea. Se emplearon pilones en lugar de semilla para minimizar el daño causado por los pájaros. Se implementó una irrigación entubada por fila con una frecuencia de tres veces por semana hasta el tiempo de cosecha. El régimen de fertilización fue el siguiente: 150 kg de N por ha, un tercio dos semanas después de la siembra, un tercio luego de un mes y el tercio final dos meses después de la primera aplicación; 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 50 kg de K<sub>2</sub>O por ha, dos semanas después de la siembra. En todas las variedades se observó la antesis aproximadamente a los 63 días y la cosecha se llevó a cabo a los 116 días, cuando el grano había alcanzado una textura al tacto adecuada.

*Productividad de la biomasa del tallo.* De cada unidad experimental se cosecharon las dos filas centrales. Se removieron las hojas del tallo en forma manual, se eliminó la panoja conteniendo el grano y se registró el peso. La muestra se obtuvo de cuatro tallos escogidos al azar y cortados a ras de tierra temprano en la mañana. Se limpiaron manualmente del follaje y de hoja adherida y se les removió la parte superior. Ese mismo día se enviaron al Campo Central en la ciudad de Guatemala en donde se almacenaron a 10 °C hasta que se procesaron.

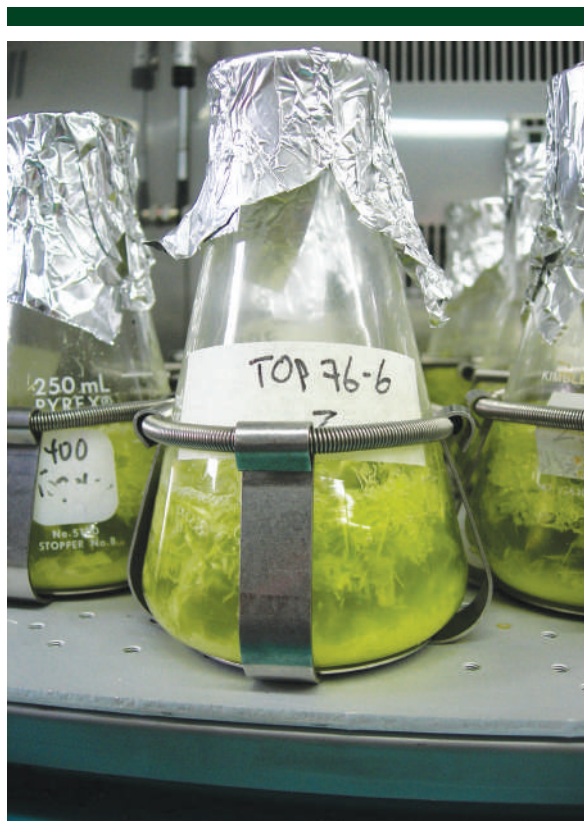
Los tallos descongelados se procesaron de la siguiente manera. Se cortó manualmente un segmento de dos de los tallos de cada variedad y de cada sitio. El segmento se escogió entre el segundo y cuarto nudo del tallo, contando de la parte inferior.



Luego se partieron en pedazos pequeños empleando un cuchillo y se pulverizaron en un molino de laboratorio de alta velocidad (IKA Works A11). Esta muestra compuesta se utilizó para los análisis de los azúcares y las pruebas de fermentación. El resto de los tallos se prensaron en un trapiche de tres rodos dentados de acero inoxidable accionado por un motor de 2 HP. En el jugo obtenido se determinó el Brix empleando un refractómetro digital (Sper Scientific Ltd Model 3000034) y luego se procedió con el análisis de los azúcares.

**Muestras del grano.** Las panojas conteniendo el grano se colectaron a mano empleando tijeras de podar. Una muestra compuesta se obtuvo de las panojas de las dos filas centrales de cada unidad experimental. Se colocaron en cajas plásticas perforadas bajo sombra y se dejaron varios días para una deshidratación parcial. Luego se removió el grano manualmente, se limpió y se obtuvo su peso. Se obtuvo una muestra representativa la cual sirvió para los análisis químicos y biológicos. La muestra se repartió en bandejas y se secó expuesta al ambiente. Se redujo su tamaño de partícula en un molino Wiley acoplado con una malla de 40. La composición química proximal se obtuvo empleando la metodología de la AOAC (AOAC, 1984) en dos fracciones de la muestra, incluyendo el análisis de los polifenoles (taninos). Para las pruebas biológicas se emplearon 3,000 g de la muestra a la cual se adicionaron un 4 % de una mezcla de minerales, 5 % de aceite comestible y un 1 % de una mezcla completa de vitaminas. Ocho ratas de 22 días de edad se asignaron a cada una de las variedades de sorgo en ensayo, alimentándose *ad libitum* por 28 días. Se obtuvo el peso cada 7 días. Se empleó leche descremada en polvo con un nivel de 9 % de proteína como referencia. Para evaluar la digestibilidad se emplearon 5 ratas por cada tratamiento. En la tercera semana del estudio se registró su peso al principio y al final de seis días, además del alimento ingerido y el peso de las heces. La digestibilidad de la proteína se estimó como el cociente del nitrógeno excretado sobre el nitrógeno ingerido (Pellet & Young, 1980). Los valores del cociente de la eficiencia proteica, PER, se estimaron como el cociente a los 28 días de la ganancia en peso sobre la proteína consumida.

**Levadura empleada, medio de cultivo y producción de etanol.** La levadura empleada en los ensayos fue una cepa de *Saccharomyces cerevisiae* empleada en las destilerías del país disponible comercialmente. Se creció en caldo *Sabourad* (Merck, 2 % glucosa, 0.5% de peptona animal y 0.5% de peptona de caseína) más un 1 % de sacarosa. Se agregaron 125 mL del caldo a un frasco de 250 mL, se esterilizó a 121 °C por 20 min, se enfrió, se inoculó con la levadura y se agitó a 250 rpm a 30 °C por 48 h (*Incubator Shaker Lab Companion Model SI-600*). Luego, la suspensión se centrifugó a 4,000 rpm y 10 °C (*Eppendorf Table-top Refrigerated Centrifuge Model 5804R*). El sólido se suspendió en agua deionizada y se ajustó la densidad óptica a 1.6, la cual correspondía a aproximadamente 1.2 g de levadura seca por litro. Un volumen de 100 mL se agregó a un frasco conteniendo una cantidad conocida de sorgo pulverizado,  $31.1 \pm 1.2$  g, empleando en promedio 20 g de levadura seca por kg de partículas secas de sorgo. Cada variedad de sorgo se ensayó en duplicado. Como se muestra en la Gráfica 2 la proporción agua-sólido empleada, que en promedio fue de  $16.33 \pm 2.60$  mL por g de sorgo seco, aseguraba que



Gráfica 2. Sistema de extracción-fermentación

inicialmente el sorgo estuviera inmerso en la fase líquida de manera de facilitar la extracción de los azúcares y su transformación simultánea a etanol. Los frascos se mantuvieron a 27 °C por 36 h (*Lab-Line Incubator Imperial III*). Los contenidos se filtraron en papel filtro Whatman 1004-110. Los sólidos se lavaron con agua destilada y se descartaron. Los líquidos filtrados se diluyeron a 250 mL y luego, se tomó una alícuota que se centrifugó a 10 °C a 4,000 rpm; en dicha muestra se cuantificaron el etanol y los azúcares por cromatografía, gaseosa y líquida de alta presión respectivamente.

Se empleó una extracción y fermentación simultánea debido a que es una metodología que a escala de laboratorio asegura la extracción prácticamente de todos los azúcares de la matriz sólida y de su conversión a etanol por la levadura (Rolz y de León, 2010; 2011). Por el contrario, cuando se utilizó prensado del tallo en un molino de tres tambores rotatorios en un solo paso, se obtuvo una extracción de solamente un 41 % de extracción del azúcar del tallo en el mejor de los casos. No se deseaba que un factor de una extracción parcial del azúcar, diferente en cada variedad, pudiera ejercer una influencia en los resultados.

**Determinaciones analíticas.** La humedad de los tallos de cada variedad se obtuvo de una muestra compuesta de material pulverizado que se deshidrató hasta peso constante a 65 °C. La muestra de cada variedad y sitio para cuantificar los azúcares se preparó de la siguiente manera: aproximadamente 50 g de material pulverizado se mezclaron con 250 mL de agua, se llevaron a ebullición manteniéndola por 30 min, luego se dejó

**Cuadro 1.** Productividad del tallo para las seis variedades de sorgo dulce, las dos variedades criollas de sorgo en los dos sitios

| Variedad      | Productividad tallo <sup>a</sup> Mg tallo húmedo/ha (Paraiso) | Humedad <sup>b</sup> % (Paraiso) | Productividad tallo <sup>a</sup> Mg tallo húmedo/ha (Campo Sur) | Humedad <sup>b</sup> % (Campo Sur) |
|---------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Dale          | 30.39 ± 10.13                                                 | 76.54                            | 36.29 ± 3.46                                                    | 76.77                              |
| Della         | 30.43 ± 6.02                                                  | 77.19                            | 39.58 ± 1.97                                                    | 78.45                              |
| M81-E         | 37.57 ± 10.30                                                 | 80.73                            | 42.66 ± 2.04                                                    | 81.48                              |
| Sugar Drip    | 48.41 ± 11.85                                                 | 80.81                            | 36.92 ± 3.07                                                    | 80.31                              |
| Top 76-6      | 39.96 ± 8.67                                                  | 77.23                            | 44.35 ± 2.17                                                    | 79.73                              |
| Umbrella      | 40.44 ± 4.48                                                  | 81.85                            | 54.83 ± 1.99                                                    | 80.65                              |
| Hibrido H8015 | 28.73 ± 4.61                                                  | 77.86                            | 25.05 ± 0.74                                                    | 79.60                              |
| ICTA-Mictlán  | 18.29 ± 3.42                                                  | 83.11                            | 25.93 ± 1.87                                                    | 81.68                              |
| Promedio ± ds | 37.87 ± 6.83 <sup>a</sup>                                     | 79.42                            | 42.44 ± 6.84 <sup>a</sup>                                       | 79.83                              |

<sup>a</sup> El promedio se estimó tomando en cuenta únicamente las seis variedades de sorgo dulce

<sup>b</sup> Un dato para cada muestra compuesta

enfriar. La suspensión se filtró con ayuda de vacío empleando papel filtro *Whatman 1004-110*. En el filtrado los azúcares se determinaron empleando un cromatógrafo líquido de alta presión *Agilent 1100*, con un detector de índice de refracción *Agilent 1200*, una columna *Zorbax NH2*, de 25 cm de longitud, 4.6 mm de diámetro interno, y una mezcla de acetonitrilo en agua (70-30) como solvente. En las muestras fermentadas, el etanol se cuantificó empleando un cromatógrafo de gases *Agilent 6890N*, con una columna *HP-Plot Q* de 30 m de longitud y 32 mm de diámetro interno.

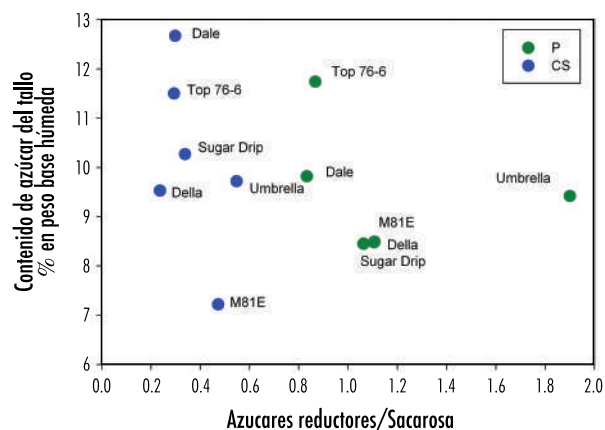
**Análisis estadístico.** Los análisis de variancia se realizaron empleando *GraphPad Prism 4*.

## Resultados

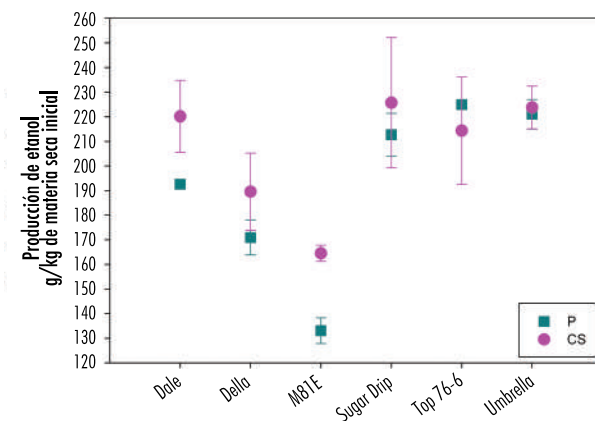
**Productividad y humedad del tallo.** La productividad de las variedades de sorgo se presenta en el Cuadro 1. No hubo diferencias significativas entre los dos sitios de experimentación (F: 2.901; P: 0.1143), entre las variedades de sorgo dulce (F: 2.577; P: 0.0832), ni tampoco en la interacción entre ambas (F: 1.746; P: 0.1987). Sin embargo, las cifras reportadas muestran que: a) la productividad de los sorgos nacionales fue inferior a las variedades de sorgo dulce en ambos sitios, y b) la humedad promedio de los tallos durante el corte fue la misma en ambos sitios.

**Contenido de azúcares en el tallo.** La Gráfica 3 presenta los azúcares totales en el tallo en el momento de la cosecha en función del cociente obtenido al dividir el contenido de azúcares reductores, es decir la suma de glucosa y fructosa, sobre el contenido de sacarosa, un azúcar no reductor, en ambos sitios. Los datos se obtuvieron en muestras compuestas provenientes de varios tallos para cada variedad y no se obtuvo un duplicado de otros tallos por lo que no fue posible llevar a cabo un análisis de variancia para determinar diferencias significativas.

Puede observarse que: a) los azúcares reductores fueron consistentemente mayores en las muestras del sitio P; y a su vez, el cociente anterior para todas las variedades estuvo > de 0.80; b) las variedades Della y Sugar Drip tuvieron el menor contenido de azúcar en el sitio P; c) la variedad M81E el menor contenido



**Gráfica 3.** Contenido de azúcar total en el tallo expresado en base húmeda en función del cociente obtenido al dividir los contenidos de glucosa y fructosa, azúcares reductores, sobre el contenido de sacarosa



**Gráfica 4.** Producción de etanol de las seis variedades de sorgo dulce en los dos sitios experimentales

de azúcar en el sitio CS y d) las variedades Top 76-6 y Umbrella mostraron similar contenido de azúcar en ambos sitios. A pesar de la dispersión encontrada en los datos se puede intuir una tendencia en donde una mayor cantidad de azúcares reductores significa un menor contenido total de azúcares en el tallo.

**Cuadro 2.** Productividad del grano de seis variedades de sorgo dulce en los dos sitios experimentales

| Variedad   | Productividad del grano<br>Mg/ha, base seca<br>(Paraíso) | Productividad del<br>grano Mg/ha, base seca<br>(Campo Sur) |
|------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Dale       | *                                                        | 2.37 ± 0.91                                                |
| Della      | 1.22 ± 0.46                                              | 1.76 ± 0.75                                                |
| M81-E      | 1.81 ± 0.85                                              | 3.36 ± 0.98                                                |
| Sugar Drip | 2.04 ± 0.84                                              | 2.80 ± 0.79                                                |
| Top 76-6   | 1.69 ± 0.53                                              | 3.04 ± 1.41                                                |
| Umbrella   | 2.62 ± 0.93                                              | 3.61 ± 1.48                                                |

\*Muestra extraviada

*Producción y rendimiento de etanol.* Los datos de la producción de etanol se muestran en la Gráfica 4. Las cifras para las variedades Sugar Drip, Top 76-6 y Umbrella estuvieron entre 200 y 250 g de etanol por kg de materia seca inicial. La variedad Top 76-6 produjo un promedio de aproximadamente 220 g. Dale y Della estuvieron cerca, o abajo, de los 200 g en ambos sitios. Un análisis de variancia bilateral mostro diferencias significativas entre variedades (F: 21.58; p: <0.0001) y entre sitios (F: 7.164, p: 0.0202) pero no en su interacción.

El rendimiento de etanol, definido como el cociente entre el etanol producido sobre los azúcares solubles consumidos, fue para las variedades de sorgo dulce, en promedio,  $0.44 \pm 0.06$  para el sitio P, y  $0.39 \pm 0.01$  para el sitio CS. Las diferencias fueron significativas entre variedades (F: 5.24, p: 0.0088), sitios de experimentación (F: 17.52, p: 0.0013) y su interacción (F: 5.17, p: 0.0093)

*Productividad del grano.* Los valores encontrados se encuentran reportados en el Cuadro 2. No hubo diferencias significativas entre variedades (F: 1.375; p: 0.2717), pero si hubo entre los dos sitios (F: 5.913; p: 0.0354). La interacción entre ambas variables fue despreciable (F: 0.1885; p: 0.9390). Los rendimientos obtenidos en el sitio CS fueron superiores que las del sitio P para todas las variedades. En el análisis de variancia no se incluyo la variedad Dale debido a que la muestra en el sitio P se extravió.

*Composición química y evaluación nutricional del grano.* En el Cuadro 3 se presenta la composición química del grano de las seis variedades de sorgo dulce. En términos generales puede decirse que se observó una variación natural entre variedades; también se observó que el grano de las variedades de sorgo dulce mostró una mayor cantidad de proteína y de aceite que el grano de las variedades criollas de sorgo. Las diferencias en el contenido de proteína no fueron significativas (F: 2.468, p: 0.1145), sin embargo, las diferencias en el contenido de aceite si lo fueron (F: 9.072, p: 0.0029).

Los resultados de la evaluación biológica se encuentran en el Cuadro 4. Los valores PER estuvieron entre 0.26 para la variedad M81E hasta valores alrededor de la unidad para la variedad 76-6 y los dos sorgos nacionales. Algunas variedades mostraron baja digestibilidad de la proteína, tal el caso de M81E y Sugar Drip. Las variedades Dale y Top 76-6 y los dos sorgos criollos estuvieron cerca del valor de la proteína de la leche. En la última columna del cuadro se muestra el nivel de polifenoles (taninos) totales, el cual muestra una alta variación entre las variedades. La variedad con el menor valor de estos compuestos fue la variedad 76-6.

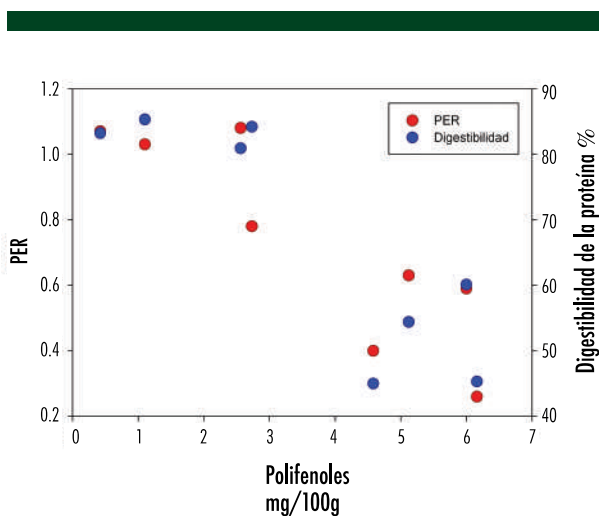
**Cuadro 3.** Composición química del grano, % base seca

| Variedad      | Humedad     | Proteína     | Aceite      | Ceniza      | Fibra       |
|---------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Dale          | 5.85 ± 0.29 | 12.39 ± 0.33 | 3.47 ± 0.25 | 1.74 ± 0.03 | 1.93 ± 0.26 |
| Della         | 6.35 ± 0.67 | 12.01 ± 0.59 | 3.41 ± 0.19 | 1.62 ± 0.05 | 1.98 ± 0.14 |
| M81E          | 6.55 ± 0.81 | 12.84 ± 0.64 | 3.53 ± 0.13 | 2.03 ± 0.13 | 2.99 ± 0.42 |
| Sugar Drip    | 6.05 ± 0.72 | 11.97 ± 0.68 | 3.12 ± 0.39 | 1.77 ± 0.08 | 2.22 ± 0.33 |
| Top 76-6      | 6.59 ± 0.54 | 12.11 ± 0.14 | 3.73 ± 0.19 | 1.92 ± 0.04 | 2.48 ± 0.20 |
| Umbrella      | 6.66 ± 0.68 | 12.51 ± 0.78 | 3.92 ± 0.15 | 1.47 ± 0.19 | 3.72 ± 0.54 |
| Híbrido H8015 | 6.51 ± 1.23 | 10.85 ± 0.94 | 2.63 ± 0.12 | 1.02 ± 0.10 | 2.60 ± 0.27 |
| ICTA Mictlán  | 6.57 ± 0.60 | 11.12 ± 0.38 | 2.83 ± 0.04 | 1.84 ± 0.07 | 2.56 ± 0.17 |

**Cuadro 4.** Evaluación biológica del grano de las variedades de sorgo

| Variedad     | Aumento de peso corporal g | PER  | Digestibilidad de la proteína % | Polifenoles totales mg/100g |
|--------------|----------------------------|------|---------------------------------|-----------------------------|
| Dale         | 20                         | 0.78 | 84.2                            | 2.73                        |
| Della        | 16                         | 0.63 | 54.4                            | 5.12                        |
| M81E         | 6                          | 0.26 | 45.3                            | 6.16                        |
| Sugar Drip   | 8                          | 0.40 | 45.0                            | 4.58                        |
| Top 76-6     | 23                         | 1.07 | 83.2                            | 0.42                        |
| Umbrella     | 15                         | 0.59 | 60.1                            | 6.00                        |
| Hybrid H8015 | 24                         | 1.08 | 80.9                            | 2.56                        |
| ICTA Mictlan | 25                         | 1.03 | 85.3                            | 1.10                        |
| Milk         | 130                        | 2.44 | 87.6                            | -                           |





Gráfica 5. Tendencia lineal entre el PER y el contenido de polifenoles

Como se muestra en la Gráfica 5 existe una correlación lineal entre el PER y el contenido de polifenoles totales para los sorgos azucarados. La Gráfica 6 muestra la diferencia del color del grano de la variedad M81E, de alto contenido de taninos, y el grano de la variedad 76-6, la variedad de más bajo contenido de taninos.

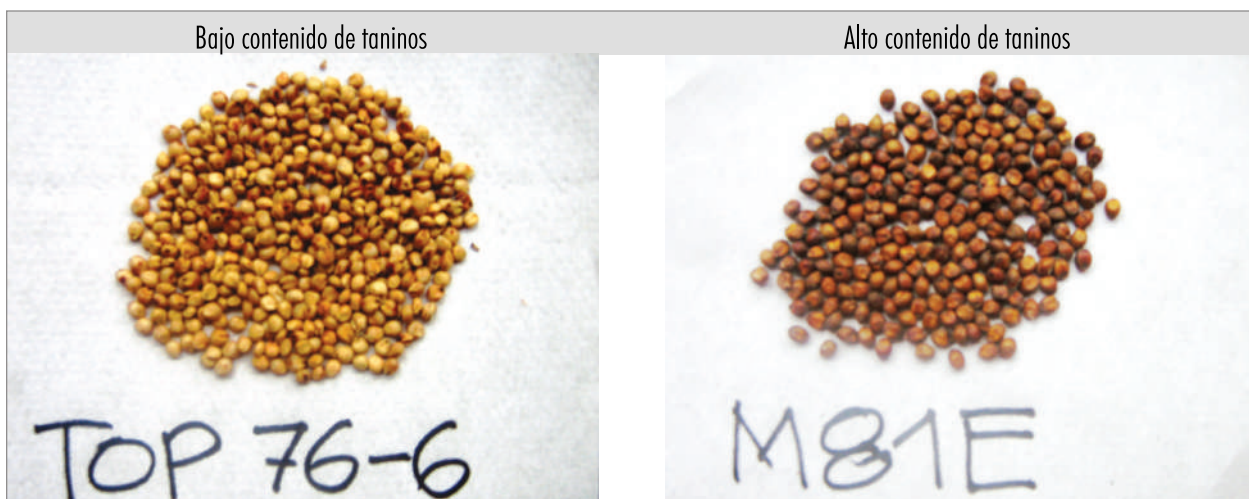
## Discusión

El principal objetivo del trabajo fue el de identificar aquellas variedades de sorgo dulce de las cuales se obtuviera un rendimiento de etanol atractivo y produjeran un grano con apropiadas características nutricionales. En la sección anterior se informaron los resultados de la productividad del tallo, el contenido de azúcares al corte, la productividad de etanol, el rendimiento del grano, su composición química y evaluación

nutricional. A continuación se presenta la discusión de los resultados en el orden anterior y tomado en cuenta el objetivo general expuesto.

**Productividad del tallo y contenido de azúcar.** Se esperaba encontrar diferencias de la productividad del tallo entre variedades y entre los dos sitios de experimentación (Cuadro 1). El resultado de la prueba estadística mostró, en el umbral de incertidumbre, que no existían diferencias significativas. Por otro lado, los datos obtenidos se encuentran en el mismo orden de magnitud de aquellos reportados en climas tropicales de Indonesia (Tsuchihashi y Goto, 2004), India (Rajendran et al. 2000), y Brasil (Albuquerque et al. 2012), aun tomando en cuenta las diferencias en el mes de inicio del ensayo, espaciamiento de plantas, nivel de fertilización, precipitación, frecuencia de riego y otras condiciones de suelo y ambiente, que pudieron existir en dichos informes. Un efecto significativo en el rendimiento se ha observado bajo las siguientes circunstancias, en diferentes años en el mismo sitio (Tamang et al. 2011; Russo y Fish, 2012), niveles de fertilización abajo de 90-110 kgN/ha (Erickson et al. 2012), o un nivel bajo de la humedad del suelo (Miller y Ottman, 2010; Vasilakoglou et al. 2011; Cosentino et al. 2012).

Todas las variedades de sorgo dulce mostraron el mismo tiempo de la antesis y la maduración. Resultados similares se informaron en Indonesia (Tsuchihashi and Goto, 2004). Sin embargo, en climas templados y subtropicales, algunas variedades han mostrado una maduración tardía, como la 76-6 y la M81E, en comparación de aquellas que han tenido una maduración temprana, como la Dale (Erickson et al. 2012). Esta diferencia puede ser causada por la intensidad de la radiación solar y el recubrimiento por nubes, que son específicas a la latitud. Las cifras de azúcares totales (Gráfica 3) estuvieron en el mismo orden de magnitud que aquellas reportadas para la variedad Wray en regiones tropicales de Indonesia (Tsuchihashi and Goto, 2004) y para varios híbridos cosechados en India (Chavan et al. 2009).



Gráfica 6. Comparación del color del grano



Es bien conocido (Lingle et al. 2012) que los tallos del sorgo dulce tienen en la maduración mas azúcares reductores que la caña de azúcar. Existen diferencias entre variedades para la proporción de azúcares reductores (Teetor et al 2011). Por ejemplo, el contenido de sacarosa, expresado como un porcentaje de los azúcares totales, se ha informado que oscila entre 57 a 87, un intervalo amplio, y que el de glucosa, que predomina sobre la fructosa, varía entre 13 a 28 % (Curt et al. 1995; Amaducci et al. 2004; Sipos et al. 2009). Se esperaba, entonces, que el cociente de los azúcares reductores sobre la sacarosa fuera diferente para las variedades ensayadas (Gráfica 3). Este cociente puede ser considerado como un indicador para establecer el momento apropiado de cosecha, en conjunto con el comúnmente empleado de establecer el desarrollo del grano.

*Producción del etanol.* La producción de etanol se reportó en términos de g de etanol por kg de biomasa seca del tallo. De esta manera, es posible compararlos con la cifra que se obtendría al emplear un sorgo dulce ideal usado como referencia que contuviese 500 g de hexosas fermentables y 500 g de carbohidratos estructurales por kg de tallo seco. Empleando un rendimiento teórico de hexosas a etanol por levadura de 0.51, un cálculo simple da 255 g de etanol, la cual puede tomarse como referencia. Todos los datos experimentales (Gráfica 4) estuvieron debajo de 226 g de etanol por kg de tallo seco.

El promedio de la producción de etanol fue mayor en el sitio CS. Dicho resultado se esperaba pues el promedio del contenido de azúcar del tallo en CS también fue superior. La producción de etanol de la variedad Top 76-6 fue de aproximadamente 220 g por kg de tallo seco, cifra que equivale a 2,465 litros de etanol por hectárea. Las variedades Sugar Drip y Umbrella se acercaron a esta cifra. La concentración de etanol en el frasco al final de la fermentación era lo suficientemente baja para evitar alguna inhibición de la levadura y el consumo de azúcares (datos no informados) estuvo entre el 96 y el 100 % de la cantidad inicial en el tallo. Por lo anterior se deduce que las diferencias encontradas en la producción de etanol entre las distintas variedades (Gráfica 4) podrían haberse originado ya sea, por que los azúcares no estaban biológicamente disponibles, o por la presencia de inhibidores en algunas variedades de sorgo dulce, como se sugirió recientemente (Ratnavathi et al. 2010; Chohnan et al. 2011), o por ambas causas.

Se cree que la variación en la proporción de los azúcares individuales entre las variedades no fue un factor de influencia en la producción de etanol. Se conoce que glucosa es el azúcar preferido para ser transportado hacia dentro de la célula de la levadura, además se sabe que parte de la sacarosa es hidrolizada por la presencia de la invertasa en la membrana celular formando glucosa y fructosa que a su vez son transportados (Berthels et al. 2004; Perez et al. 2005). Por lo anterior se estima que la tasa de consumo de azúcar fue la misma en todos los experimentos, pero no necesariamente la cantidad total de azúcar transportada hacia el interior.

Algunos autores han reportado la producción de etanol de las hexosas solubles del tallo en litros por hectárea. Tew et al (2008) para las variedades Dale, M81E, Rio, Theis y Topper, cosechadas a 119 DAP (días después de plantadas) reportaron 3,380, 2,780, 3,000, 2,950 y 2,620 litros/ha respectivamente. Miller y

Ottman (2010) para la variedad M81E reportaron valores entre 2,639 a 2,878 litros por hectárea. Erickson et al (2011) informaron que en los dos años de experimentación, en todos los sitios experimentales, en todas las fechas de sembrado y para todas las variedades se obtuvo un promedio de 3,611 litros/ha. Recientemente, Dutra et al (2013) para las variedades Rio, Dale, Willey y Wray, la producción estuvo entre 949 a 2,066 litros por hectárea. Finalmente, Rao et al (2013) para variedades híbridas de India, entre 925 a 1,440 litros/ha. Todos estos valores están en el mismo orden de magnitud de los 2,465 litros/ha que se estimaron para la variedad Topper en este trabajo. Sin embargo, los autores de las referencias citadas anteriormente calcularon la producción de etanol del rendimiento del tallo fresco y su contenido de azúcar, suponiendo valores de extracción del azúcar y rendimiento a etanol de valores reales de los ingenios de caña de azúcar y las destilerías. Los datos reportados en este trabajo obtenidos experimentalmente por una extracción y fermentación simultánea de los azúcares confirman las anteriores suposiciones.

Son escasos todavía las pruebas de extracción del azúcar del sorgo dulce en instalaciones industriales, una referencia informa de una prueba piloto realizada en Australia (Webster et al. 2004) en donde la eficiencia de extracción del azúcar estuvo entre el 70 y el 80 %, cifras relativamente bajas al compararla con las logradas procesando caña en el mismo equipo, de 90 a 95 %, aunque se resaltaba que los ajustes en la maquinaria necesarios para incrementar la extracción a valores aceptables eran factibles. Woods (2001) también informó de dos pruebas a escala industrial en Zimbabwe empleando las variedades de sorgo dulce Keller y Cowley. La productividad final de etanol informada fue de 3,000 litros por hectárea, aunque no indicaron la eficiencia en la extracción del azúcar del tallo.

*Producción, composición química y evaluación nutricional del grano.* El orden de magnitud de los valores reportados para la producción del grano se encuentran dentro del intervalo informado por otros investigadores, por ejemplo, en China, 2.2 a 7.5 Mg por hectárea (Zhao et al. 2009; Wang and Liu, 2009; Zhang et al. 2010), en India, hasta 2.6 Mg/ha (Blümmel et al. 2009), en Indonesia, 2.4 Mg/ha (Tsuchihashi and Goto, 2004), y en Nigeria, 2.5-2.6 Mg/ha (Nasidi et al. 2010). Los valores del contenido de proteína y grasa para sorgo de grano se han documentado como 7 a 15 % y 1.5 a 6.0 % respectivamente (Dicko et al. 2006). Los valores de fibra cruda y cenizas han oscilado entre 3.2 a 5.1 % y 1.5 a 2.1 % respectivamente (Pérez-Carrillo and Serna-Saldívar, 2006). Los resultados acá informados para variedades de sorgo dulce (Cuadro 3) se encuentran en los rangos anteriores. Los valores PER encontrados en este trabajo están por arriba de aquellos reportados previamente para sorgo de grano, los cuales se encuentran entre 0.113 y 0.703 (Shayo et al, 2001). Los valores de polifenoles colocan a las variedades ensayadas de sorgo dulce como sorgos de tipo taninos (Anyango et al. 2011).

La relación lineal negativa entre el PER y el contenido de polifenoles (Gráfica 5) fue un resultado clave que permitió seleccionar a la variedad Top 76-6 como posiblemente la mejor variedad para cumplir con los dos objetivos de la investigación, una alta productividad de etanol de los azúcares del tallo y un

grano con la mejor característica nutricional. Sin embargo, es pertinente resaltar que aunque las variedades Sugar Drip y Umbrella mostraron también una alta productividad de etanol (Gráfica 4), la evaluación nutricional del grano fue decepcionante (Cuadro 4).

## Conclusiones

Los resultados experimentales presentados y la discusión de los mismos permiten concluir que la variedad de sorgo dulce Top 76-6 plantada en la zona del Pacífico de Guatemala podría ser considerada como un cultivo que podría asegurar una seguridad energética y alimenticia en una forma sostenible. La producción promedio del tallo fresco y del grano seco fue de 42.15 Mg/ha y 2.36 Mg/ha respectivamente. La productividad promedio de etanol fueron aproximadamente 220 g de etanol por kg de tallo seco, cifra equivalente a 2,465 litros de etanol por hectárea. El grano tuvo el menor contenido de polifenoles y una adecuada calidad de la proteína, mostrando un PER igual a 1.07 y un 83.2 % de digestibilidad.

## Agradecimiento

Los experimentos informados fueron parcialmente financiados por un contrato con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) quien por medio del programa Food for Progress 2010 (FFP10) financió la ejecución del presente estudio (Contrato OGSM: FCC-520-2010/026-00).

## Bibliografía

Albuquerque CJB, Tardin FDE, da Costa-Parrella RA, de Souza-Guimaraes A, Mendes de Oliveira R, de Jesus-Silva KM (2012) Sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais Rev Bras Milho Sorgo **11**: 79-95

Amaducci S, Monti A, Venturi G (2004) Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques Ind Crops Prod **20**: 111-118.

Anyang JO, de Kock HIL, Taylor JRN (2011) Evaluation of the functional quality of cowpea-fortified traditional African sorghum foods using instrumental and descriptive sensory analysis LWT-Fd Sci Technol **44**: 2126-2133

AOAC (1984) Official Methods of Analysis 14 ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington

Berthels NJ, Cordero-Otero RR, Bauer FF, Thevelein JM, Pretorius IS (2004) Discrepancy in glucose and fructose utilisation during fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* wine yeast strains FEMS Yeast Res **4**: 683-689

Blümmel M, Rao SS, Palaniswami S, Shah L, Reddy BVS (2009) Evaluation of sweet sorghum used for bio-ethanol production in the context of optimizing whole plant utilization Anim Nutr Feed Technol **9**: 1-10

Bruins ME, Sanders JPM (2012) Small-scale processing of biomass for biorefinery Biofuels Bioprod Bioref **6**: 135-145

Chavan U, Patil JV, Shinde, MS (2009) An assessment of sweet sorghum cultivars for ethanol production Sugar Tech **11**: 319-323

Chohnan S, Nakane M, Rahman MH, Nitta Y, Yoshiura T, Ohta H, Kurusu Y (2011) Fuel ethanol production from sweet sorghum using repeated-batch fermentation J Biosci Bioeng **111**: 433-436

Cosentino SL, Mantineo M, Testa G (2012) Water and nitrogen balance of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* Moench (L.) cv. Keller under semi-arid conditions Ind Crops Prod **36**: 329-342

Curt MD, Fernandez J, Martínez M (1995) Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Keller in relation to water regime Biomass Bioenerg **8**: 401-409

de Vries SC, van de Ven GWJ, van Ittersum MK, Giller KE (2010) Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops, processed by first-generation conversion techniques Biomass Bioenerg **34**, 588-601

Dicko MH, Gruppen H, Traoré AS, Voragen AGJ, van Berkel WJH (2006) Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities African J Biotechnol **5**: 384-395

Dutra ED, Barbosa Neto AG, de Sousa RB, de Moraes MA, Tabosa JN, Simoes R, Menezes C (2013) Ethanol production from the stem juice of different sweet sorghum cultivars in the state of Pernambuco, Northeast of Brazil Sugar Tech **15**: 316-321

Erickson JE, Helsel ZR, Woodard KR, Vendramini JMB, Wang Y, Sollenberg LE, Gilbert RA (2011) Planting date affects biomass and brix of sweet sorghum grown for biofuels across Florida Agron. J. **103**: 1827-1833

Erickson JE, Woodard KR, Sollenberger LE (2012) Optimizing sweet sorghum production for biofuel in the Southeastern USA through nitrogen fertilization and top removal Bioenerg Res **5**: 86-94

Guigou M, Lareo C, Pérez LV, Lluberías ME, Vázquez D, Ferrari MD (2011) Bioethanol production from sweet sorghum: evaluation of post-harvest treatments on sugar extraction and fermentation Biomass Bioenerg **35**: 3058-3062

Lingle SE, Tew TL, Rukavina H, Boykin DL (2012) Post harvest changes in sweet sorghum I: Brix and sugars Bioenerg Res **5**: 158-167

Linton JA, Miller JC, Little RD, Petrolia DR, Coble KH (2011) Economic feasibility of producing sweet sorghum as an ethanol feedstock in the southeastern United States Biomass Bioenerg **35**: 3050-3057

Miller AN, Ottman MJ (2010) Irrigation frequency effects on growth and ethanol yield in sweet sorghum Agronom J **102**, 60-70

Nasidi M, Akunna J, Deeni Y, Blackwood D, Walker G (2010) Bioethanol in Nigeria: comparative analysis of sugarcane and sweet sorghum as feedstock sources Energ Environ Sci **3**: 1447-1457

Pellet P, Young VR (1980) Nutritional Evaluation of Protein Food, United Nations University, Tokyo

Perez M, Luyten K, Michel R, Riou C, Blondin B (2005) Analysis of *Saccharomyces cerevisiae* hexose carrier expression during wine fermentation: both low- and high-affinity Hxt transporters are expressed FEMS Yeast Res **5**, 351-361

Pérez-Carrillo E, Serna-Saldívar SO (2006) Cell wall degrading enzymes and proteases improve starch yields of sorghum and maize Starch/Stärke **58**: 338-344

Prasad S, Singh A, Jain N, Joshi JC (2007) Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India Energy Fuels **21**, 2415-2420

Rajendran C, Ramamoorthy K, Backiyarani S (2000) Effect of deheading on juice quality characteristics and sugar yield of sweet sorghum J Agron Crop Sci **185**: 23-26

Rao SS, Patil JV, Umakanth AV, Mishra JS, Ratnavathi CV, Shyam Prasad G, Dayakar Rao B (2013) Comparative performance of sweet sorghum hybrids and open pollinated varieties for millable stalk yield, biomass, sugar quality traits, grain yield and bioethanol production in tropical Indian condition Sugar Tech **15**: 250-257

Ratnavathi CV, Suresh K, Kumar BSV, Pallavi M, Komala VV, Seetharama N (2010) Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice Biomass Bioenerg **34**: 947-952

Rolz C, de León R (2010) Converting developing and mature sugarcane carbohydrates into ethanol Eng Life Sci **10**: 439-445

- Rolz C, de León R (2011) *Ethanol fermentation from sugarcane at different maturities* Ind Crop Prod **33**: 333-337
- Rooney WL, Blumenthal J, Bean B, Mullet JE (2007) *Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock* Biofuels Bioprod Bioref **1**: 147-157
- Russo VM, Fish WW (2012) *Biomass, extracted liquid yields, sugar content or seed yields of biofuel feedstocks as affected by fertilizer* Ind Crops Prod **36**: 555-559
- Shayo NB, Laswai HS, Tiisekwa BPM, Nnko SAM, Gidamis AB, Njoki P (2001) *Evaluation of nutritive value and functional qualities of sorghum subjected to different traditional processing methods* Int J Fd Sci Nutr **52**: 117-126
- Sipos B, Réczey J, Somorai Z, Kádár Z, Dienes D, Reczey K (2009) *Sweet sorghum as feedstock for ethanol production: enzymatic hydrolysis of steam-pretreated bagasse* Appl Biochem Biotechnol **153**: 151-162
- Tamang PL, Bronson KF, Malapati A, Schwartz R, Johnson J, Moore-Kucera J (2011) *Nitrogen requirements for ethanol production from sweet and photoperiod sensitive sorghums in the Southern High Plains* Agronom J **103**: 431-440
- Teetor VH, Duclos DV, Wittenberg ET, Young KM, Chawhuaymark J, Riley MR, Ray DT (2011) *Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona* Ind Crops Prod **34**: 1293-1300
- Tew TL, Cobill RM, Richard EP (2008) *Evaluation of sweet sorghum and sorghumxSudangrass hybrids as feedstocks for ethanol production*. Bioenerg Res **1**: 147-152
- Tsuchihashi N, Goto Y (2004) *Cultivation of sweet sorghum and determination of its harvest time to make us as the raw material for fermentation, practice during rainy season of dry land of Indonesia* Plant Prod Sci **7**: 442-448
- Vasilakoglou I, Dhima K, Karagiannidis N, Gatsis T (2011) *Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation* Field Crops Res **120**: 38-46
- Webster AJ, Hoare CP, Sutherland RF, Keating BA (2004) *Observations of the harvesting, transporting and trial crushing of sweet sorghum in a sugar mill* Proc Aust Soc Sugar Cane Technol **26**: 2004
- Wang F, Liu C-Z (2009) *Development of an economic refining strategy of sweet sorghum in the Inner Mongolia region of China* Energ Fuels **23**: 4137-4142
- Woods J (2001) *The potential for energy production using sweet sorghum in southern Africa* Energ Sustain Dev **5**: 31-38
- Yu J, Zhang T, Zhong J, Zhang X, Tan T (2012) *Biorefinery of sweet sorghum stem* Biotechnol Adv **30**: 811-816
- Zhang C, Xie G, Li S, Ge L, He T (2010) *The productive potentials of sweet sorghum ethanol in China* Appl Energ **87**: 2360-2368
- Zhao YL, Dolat A, Steinberger Y, Wang X, Osman A, Xie GH (2009) *Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel* Field Crops Res **111**: 55-64

# Características químicas y nutricionales de variedades de maicillo: desarrollo de productos alimentarios basados en mezcla de cereales, leguminosas y verduras autóctonas

Ricardo Bressani, Brenda Rodas, Elsa Gudiel & Claudia Lezama

Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CECTA), Instituto de Investigaciones, Universidad Del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** La composición química del grano de sorgo es muy similar a las que son reportados en la literatura por otros autores. Esto sugiere que la combinación del sorgo y maíz, no dañaría la calidad individual de ninguno de los dos. Por lo tanto, las mezclas de granos simples, como el maíz, el sorgo y el frijol, se pueden utilizar para el desarrollo de un alimento complementario de alta calidad. Las encuestas de alimentos consumidos muestra que en Guatemala la dieta diaria es principalmente el consumo de tortilla, consumo de frijoles y el consumo de otros vegetales. La proporción hoy en día de maíz y frijol es aproximadamente de 80 - 20% respectivamente. La calidad proteica de esta mezcla 80-20 no es la ideal debido a que la disponibilidad del frijol no es alta. Para el incremento del contenido total y calidad proteica, se sugiere el uso de un 5% de vegetales cocidos, tal como: la chaya, el chipilín, la hierbamora, el bleado y muchos otros. Este trabajo incluye la caracterización de los cereales y la forma de incorporar el 5% de vegetales dentro de una mezcla de 75% de cereal y 20% de frijol. Luego se sometieron las muestras a un estudio biológico, y asimismo, se evaluó la aceptabilidad de las mezclas.

**PALABRAS CLAVE:** verduras, cereales, granos, sorgo dulce, verduras autóctonas, *Sorghum bicolor* M.

cereal grains and the way to incorporate the 5% vegetables into mixture of 75% cereal grains and 20% beans is presented and the results discussed. The mixtures were biologically evaluated using experimental animals and acceptability trials were done.

**KEYWORDS:** vegetables, grains, beans, sweet sorghum, native vegetables, *Sorghum bicolor* M.

## Introducción

La desnutrición que prevalece en Centroamérica en los niños pre-escolares y adultos de bajo recursos, no es solamente debida a la poca disponibilidad económica de proteínas de origen animal, sino que también a la falta de un mejor aprovechamiento de los recursos existentes, a la de un buen programa de educación nutricional, y a una buena orientación agrícola a nivel nacional (Flores et al, 1961).

Entre los alimentos vegetales, las semillas leguminosas, representan una fuente rica en proteínas, y se ha demostrado por medio de encuestas dietéticas llevadas por el Instituto de Nutrición para Centroamérica y Panamá (INCAP), en los países de Centroamérica y Panamá, que el maíz y los frijoles son las dos fuentes más importantes de proteína en la dieta rural de la población (Flores et al, 1961). Según investigaciones realizadas en el INCAP, las proporciones para mezclar maíz y frijol deben de ser 80:20. En estudios anteriores a este trabajo y la literatura ha comprobado la similitud que existe en la composición química del grano del sorgo al maíz e indica que el grano de sorgo puede reemplazar al maíz sin cambiar el valor nutritivo de la dieta.

Una de las ventajas del uso del sorgo sobre el maíz, es que sobrevive en condiciones de sequía por lo que se puede cultivar en lugares donde la lluvia es escasa e impredecible (Cosentino et al, 2012).

La calidad de las proteínas de los cereales se mejora al combinarse con leguminosas, como es el frijol y la soya, pero debido a la disponibilidad de estos granos, hay que buscar otros ingredientes que suplan la proteína adecuada y los aminoácidos esenciales para obtener un alimento de alta calidad nutritiva. Debido a que las verduras son alimento de consumo diario en Guatemala, se procedió a evaluar su composición química enfocándose en

## Chemical characteristics and nutritional variety of maicillo: development of food products based on mixed cereals, pulses and indigenous vegetables

**ABSTRACT:** The chemical composition of grain sweet sorghum is very similar to that commonly reported by others for sorghum. This suggests that the combination of sorghum and corn will not damage the individual quality of each one. Therefore mixtures of grains, such as corn, sorghum and beans, could be employed for the development of high quality complementary foods. The food consumption surveys conducted in Guatemala have shown that the daily diet is mainly made of tortilla, beans and other vegetables. The present ratio of corn and beans is about 80 to 20%. The protein quality of this blend 80 -20 is not ideal because the availability from beans is not that high. In order to increase the total protein content and the protein quality we suggest the use of 5% cooked vegetables such as: chaya, chipilín, hierbamora, bleado and many others. In this work the characterization of the



el contenido de proteína (Flores et al 1961, Bressani y Gonzaga 1962).

Las verduras, como la hoja blanca, el chipilín, la acelga, el quilete, el bleado, el quixtan, la moringa, la chaya y el berro, son de gran importancia no solamente por su calidad nutritiva sino también por su disponibilidad de consumo ya que crecen de forma silvestre en bosques y campos abiertos (De Poll 1984).

En general, la composición química y el valor nutritivo de las hortalizas (INCAP 2007), contienen un gran porcentaje de agua, del 70 al 95 por ciento. A pesar de ello, siguen en importancia a los cereales como fuente de hidratos de carbono. Estos suelen presentarse en forma de almidón, azúcar, celulosa, pectinas y otras sustancias. Las grasas están almacenadas en muy pequeña cantidad. Sin embargo, el valor alimenticio de las hortalizas aumenta por la presencia de sales minerales y vitaminas. Con respecto a la fibra se consideran que es una buena fuente, y que es un componente esencial de la dieta normal y parece tener importancia tanto en la prevención como en el tratamiento de ciertas enfermedades. Hoy día se acepta la importancia de la dieta rica en fibra como parte de la terapia para pacientes con estreñimiento y divertículos. Además, puede desempeñar un papel importante en el tratamiento de la hipercolesterolemia y la diabetes; y puede reducir el riesgo de desarrollar ciertos tipos de cáncer (Campos 2003).

## Materiales y métodos

### Materiales

- Se utilizó una mezcla de todas las variedades de sorgo rojo y blanco provenientes de la región de Patulul, también se utilizó el sorgo criollo proveniente de Jalapa para complementarlo con verduras autóctonas.
- Las verduras seleccionadas fueron la moringa, el bleado, el chipilín, el quixtán, el quilete, la hoja blanca, la acelga, la chaya y el berro. Estas verduras fueron adquiridas en el CENMA (Central de Mayoreo, ciudad de Guatemala).
- Harinas de maíz marca MASECA
- Se utilizaron 17 variedades de frijol, de las cuales 5 variedades eran muestras control de venta comercial (Albay, Parramos, Campana, El Bodegón e Ipala) y 12 variedades procedentes de la unidad experimental Campo Sur de la Universidad del Valle de Guatemala.

## Métodos

### • Análisis químico proximal

Las muestras provenientes de cada variedad y de cada localidad, fueron molidas con un molino de martillos, para que pasaran en una malla de 60 para fines del análisis químico proximal que incluye humedad, proteína, extracto etéreo, cenizas, fibra dietética, carbohidratos por diferencia, por los métodos oficiales (AOAC, 1984).

### • Análisis físicos del frijol

Se realizaron a las 17 variedades de frijol métodos físicos para la caracterización tecnológica. Los métodos físicos evaluados fueron peso de grano, tamaño de grano, porcentaje de cáscara, absorción de agua, índice de tiempo de cocción e índice de espesor de caldo según la metodología presentada por el INCAP (Elias et al 1986).

### • Evaluación biológica

Para estos propósitos, las mezclas formuladas fueron analizadas por su contenido de nitrógeno y usadas para preparar dieta. Cada dieta fue suplementada con una mezcla de minerales (4%), una mezcla vitamínica completa (1%) y aceite vegetal (5%). El experimento se llevó a cabo con 8 ratas de raza WISTAR por grupo (4 hembras y 4 machos). Las ratas contaban con 22 a 24 días de edad y el experimento duró 28 días. Durante este tiempo se llevó un control de alimento ingerido y aumento de peso para evaluar el índice de eficiencia proteica (PER).

En el curso de la tercera semana, se recolectó la materia fecal de cada animal macho por un período de cinco días las cuales fueron analizadas por su contenido de nitrógeno, el método usado fue el de la AOAC.

## Resultados y discusión

El objetivo de este estudio es incrementar el nivel proteico de un alimento que tiene como base una mezcla de granos (maíz y frijol; sorgo y frijol), para ello se evaluó las características fisicoquímicas de verduras autóctonas como la hoja blanca, el chipilín, la acelga, el quilete, el bleado, el quixtán, la moringa, la chaya y el berro, enfocándose en su contenido y calidad proteica. En el Cuadro 1, se encuentra los resultados del análisis proximal de estas verduras, y muestra que todas tienen un alto porcentaje de proteína (en base seca), el valor más bajo es el de la moringa, 23.50%, y el más alto es del berro, 40.46%.

**Cuadro 1.** Análisis proximal de verduras autóctonas, en base seca.

| Verdura     | Proteína (%) | Humedad (%) | Grasa (%)   | Cenizas (%)  | Fibra cruda (%) |
|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-----------------|
| Hoja blanca | 33.35 ± 0.75 | 0.75 ± 0.04 | 6.19 ± 0.10 | 10.64 ± 0.52 | 13.63 ± 0.17    |
| Chipilín    | 38.78 ± 0.36 | 4.21 ± 0.03 | 3.50 ± 0.03 | 6.12 ± 0.00  | 12.17 ± 0.44    |
| Acelga      | 24.30 ± 0.25 | 7.61 ± 0.02 | 5.19 ± 2.24 | 13.17 ± 0.03 | 7.80 ± 0.03     |
| Quilete     | 38.81 ± 0.02 | 6.75 ± 0.36 | 6.50 ± 1.16 | 7.69 ± 0.13  | 10.29 ± 0.77    |
| Bledo       | 30.66 ± 0.14 | 4.29 ± 0.01 | 4.55 ± 1.16 | 15.27 ± 0.32 | 9.47 ± 0.10     |
| Quixtán     | 35.96 ± 1.30 | 5.11 ± 0.26 | 6.63 ± 0.19 | 10.81 ± 0.33 | 12.36 ± 0.59    |
| Moringa     | 23.50 ± 0.28 | 4.49 ± 0.07 | 7.09 ± 0.23 | 12.01 ± 0.12 | 7.40 ± 0.44     |
| Chaya       | 28.96 ± 0.35 | 2.62 ± 0.13 | 7.64 ± 0.14 | 9.60 ± 0.13  | 9.40 ± 0.45     |
| Berro       | 40.46 ± 0.27 | 6.78 ± 0.21 | 5.42 ± 1.63 | 10.35 ± 0.01 | 7.90 ± 0.81     |

**Cuadro 2.** Análisis físicos de las 17 variedades del frijol.

| Variedad                      | Peso promedio de grano <sup>*1</sup> | Tamaño de grano <sup>*2</sup> | Absorción de Agua <sup>*3</sup> | Cáscara (%) <sup>*4</sup> |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Hunapu                        | 0.234 ± 0.003                        | 0.307 ± 0.011                 | 50.24 ± 4.14                    | 9.38 ± 0.42               |
| Hunapu precoz                 | 0.237 ± 0.005                        | 0.294 ± 0.011                 | 68.74 ± 1.55                    | 10.90 ± 0.12              |
| Super Chiva                   | 0.184 ± 0.003                        | 0.240 ± 0.000                 | 40.94 ± 3.63                    | 11.00 ± 0.27              |
| Altense                       | 0.242 ± 0.005                        | 0.290 ± 0.010                 | 33.37 ± 4.80                    | 8.84 ± 0.59               |
| Altense precoz                | 0.256 ± 0.004                        | 0.330 ± 0.000                 | 34.20 ± 6.73                    | 9.22 ± 0.30               |
| EPR - 9                       | 0.258 ± 0.002                        | 0.330 ± 0.000                 | 53.69 ± 2.43                    | 10.06 ± 0.28              |
| Soyaxche                      | 0.177 ± 0.005                        | 0.230 ± 0.010                 | 8.49 ± 4.12                     | 10.34 ± 0.81              |
| Texel                         | 0.236 ± 0.002                        | 0.300 ± 0.000                 | 44.40 ± 15.84                   | 9.16 ± 0.04               |
| ICTA ligero                   | 0.196 ± 0.008                        | 0.267 ± 0.015                 | 26.54 ± 15.18                   | 10.54 ± 0.30              |
| Trepador El Tablón Sololá     | 0.326 ± 0.002                        | 0.397 ± 0.006                 | 47.70 ± 6.93                    | 9.26 ± 0.19               |
| Frijol Arbustivo Ojo de Agua  | 0.231 ± 0.005                        | 0.287 ± 0.006                 | 87.86 ± 1.23                    | 9.84 ± 0.20               |
| Parramos                      | 0.221 ± 0.007                        | 0.263 ± 0.006                 | 81.89 ± 1.50                    | 9.35 ± 0.18               |
| El Bodegón                    | 0.214 ± 0.007                        | 0.257 ± 0.012                 | 80.18 ± 2.79                    | 9.77 ± 0.18               |
| La Campana                    | 0.200 ± 0.002                        | 0.220 ± 0.000                 | 83.74 ± 6.11                    | 9.88 ± 0.50               |
| Ipala                         | 0.206 ± 0.004                        | 0.243 ± 0.006                 | 86.59 ± 0.80                    | 9.16 ± 0.13               |
| Frijol Albay                  | 0.213 ± 0.002                        | 0.260 ± 0.000                 | 89.17 ± 2.17                    | 9.93 ± 0.17               |
| Frijol Agricultor Ojo de Agua | 0.276 ± 0.006                        | 0.343 ± 0.012                 | 65.25 ± 4.43                    | 9.09 ± 0.15               |

Valores de referencia\*

1. Menor de 0.193g = grano pequeño, de 0.193 a 0.217g = grano mediano, mayor de 0.217 = grano grande.

2. Menor de 0.1919mL = grano pequeño, de 0.1919 a 0.2010mL = intermedio, mayor de 0.2010mL = grano grande

3. Menos de 80% de absorción = cáscara dura, mayor de 81% de absorción = cáscara suave. (Elias et al 1986)

4. Menor de 8.0 % = contenido de cáscara bajo, de 8.0 a 10.0% = intermedio, mayor de 10.0% = cáscara alto.

**Cuadro 3.** Índice de cocción y de espesor de caldo de las 17 variedades del frijol.

| Variedad                      | Índice de cocción (%) <sup>*1</sup> | Índice de espesor de caldo (%) <sup>*2</sup> |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| Hunapu                        | 76                                  | 0.32                                         |
| Hunapu precoz                 | 64                                  | 0.41                                         |
| Super Chiva                   | 56                                  | 0.22                                         |
| Altense                       | 64                                  | 0.43                                         |
| Altense precoz                | 72                                  | 0.42                                         |
| EPR - 9                       | 48                                  | 0.38                                         |
| Soyaxche                      | 44                                  | 0.10                                         |
| Texel                         | 60                                  | 0.29                                         |
| ICTA ligero                   | 40                                  | 0.15                                         |
| Trepador El Tablón Sololá     | 68                                  | 0.36                                         |
| Frijol Arbustivo Ojo de Agua  | 48                                  | 0.37                                         |
| Parramos                      | 72                                  | 0.48                                         |
| El Bodegón                    | 48                                  | 0.40                                         |
| La Campana                    | 52                                  | 0.48                                         |
| Ipala                         | 60                                  | 0.44                                         |
| Frijol Albay                  | 68                                  | 0.37                                         |
| Frijol Agricultor Ojo de Agua | 88                                  | 0.53                                         |

1. Más de 47% de granos reventados = frijol recién cosechado, menos del 34% granos reventados = con 6 meses de almacenamiento bajo condiciones de agricultor.

2. Menor de 0.4% = sugiere caldo ralo, entre 0.4 a 0.5% = caldo intermedio, mayor de 0.5% = caldo espeso. (14)

En los Cuadros 2 y 3, se puede observar la caracterización tecnológica de 17 muestras de frijol. Para dicha caracterización se realizaron métodos físicos (peso y tamaño de grano, porcentaje de cáscara, absorción de agua, índice de tiempo de cocción e índice de espesor de caldo). En general, según los valores de referencias del peso de grano y tamaño de grano (Elias et al 1986), diez de las variedades fueron considerados granos grandes (peso promedio mayor de 0.217g), para la variedad de *superchivas* y *soyaxche*, que entraron en la categoría de granos pequeños (peso promedio menor de 0.193g) y en la categoría de granos medianos estuvieron las variedades de ICTA ligero, El Bodegón, La Campana, Ipala y el frijol Albay (peso promedio entre 0.193 a 0.217g). Ahora según las referencias del método físico del tamaño del grano, todas las variedades del frijol fueron consideradas granos grandes (valores mayores de 0.2010).

Además, se puede observar que por el método de porcentaje de cáscara y absorción de agua, se pudo determinar para cada variedad si eran de contenido bajo, intermedio y alto de cáscara y si se trataba de una cáscara dura o suave. Existe una marcada diferencia entre la dureza de la cáscara de las variedades estudiadas y las de venta comercial, éstas últimas reportan valores más bajos de dureza, sin embargo este parámetro no fue decisivo para establecer la dureza de cocción del frijol, por el contrario, el índice de cocción resultó ser inversamente proporcional a la dureza de la cáscara. (Elias et al 1986). Según el Cuadro 3, existe poca diferencia del índice de espesor de caldo entre las variedades, y la diferencia se puede observar que en las variedades de venta comercial, el índice de espesor

**Cuadro 4.** Análisis químico proximal de las 17 variedades del frijol

| Variedad                  | Humedad (%)  | Proteína (%) | Grasas (%)  | Fibra (%)   |
|---------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Hunapu                    | 10.06 ± 0.37 | 19.04 ± 0.51 | 2.29 ± 0.36 | 3.43 ± 0.50 |
| Hunapu precoz             | 10.11 ± 0.44 | 18.20 ± 2.38 | 1.62 ± 0.02 | 5.24 ± 0.21 |
| Super Chiva               | 11.84 ± 0.50 | 14.34 ± 2.21 | 1.66 ± 0.01 | 4.95 ± 0.17 |
| Altense                   | 8.98 ± 0.36  | 18.52 ± 0.04 | 1.85 ± 0.03 | 4.52 ± 0.27 |
| Altense precoz            | 8.12 ± 0.61  | 21.41 ± 0.37 | 1.75 ± 0.00 | 3.70 ± 0.03 |
| EPR - 9                   | 10.94 ± 0.34 | 19.13 ± 0.55 | 1.91 ± 0.07 | 4.26 ± 0.60 |
| Soyaxche                  | 8.18 ± 0.21  | 20.34 ± 0.00 | 1.51 ± 0.22 | 4.99 ± 0.07 |
| Texel                     | 12.41 ± 0.29 | 18.30 ± 0.03 | 1.66 ± 0.05 | 4.39 ± 0.02 |
| ICTA ligero               | 10.83 ± 0.28 | 29.79 ± 0.21 | 0.94 ± 0.00 | 4.68 ± 0.70 |
| Trepador El Tablón Sololá | 14.66 ± 0.02 | 18.24 ± 1.71 | 1.37 ± 0.04 | 3.93 ± 0.06 |
| Arbustivo Ojo de Agua     | 18.82 ± 0.13 | 17.97 ± 0.29 | 1.73 ± 0.05 | 3.54 ± 0.16 |
| Parramos                  | 10.50 ± 0.31 | 19.15 ± 0.59 | 1.39 ± 0.07 | 3.87 ± 0.91 |
| El Bodegón                | 11.20 ± 0.39 | 21.46 ± 0.63 | 1.41 ± 0.00 | 4.00 ± 0.99 |
| La Campana                | 8.40 ± 0.38  | 21.18 ± 0.57 | 1.52 ± 0.00 | 3.30 ± 0.08 |
| Ipala                     | 9.42 ± 0.33  | 21.72 ± 0.84 | 1.37 ± 0.09 | 4.45 ± 0.18 |
| Frijol Albay              | 15.82 ± 0.02 | 21.20 ± 1.13 | 1.64 ± 0.06 | 4.68 ± 0.04 |
| Agricultor Ojo de Agua    | 11.70 ± 0.34 | 25.44 ± 0.18 | 1.03 ± 0.01 | 3.77 ± 0.18 |

**Cuadro 5.** Calidad proteica del sorgo combinado con soya a distintas proporciones.

| INGREDIENTES           | DIETAS         |                |                |                |                |                |                |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                        | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | 7              |
| Maicillo Dulce         | 83             | 67             | 50             | 35             | 17             | 0              | 0              |
| Harina de Soya         | 0              | 4              | 8              | 12             | 16             | 20             | 0              |
| Leche Descremada       | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 31             |
| Minerales              | 4              | 4              | 4              | 4              | 4              | 4              | 4              |
| Aceite                 | 5              | 5              | 5              | 5              | 5              | 5              | 5              |
| Vitamina               | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| Almidón                | 7              | 19             | 32             | 43             | 57             | 70             | 59             |
| <b>TOTAL</b>           | <b>100</b>     | <b>100</b>     | <b>100</b>     | <b>100</b>     | <b>100</b>     | <b>100</b>     | <b>100</b>     |
| RESULTADOS             |                |                |                |                |                |                |                |
| Proteína en Dieta (%)  | 12.64 ± 0.21   | 12.75 ± 0.47   | 12.25 ± 0.19   | 12.14 ± 0.21   | 12.71 ± 0.30   | 12.07 ± 0.17   | 13.19 ± 0.26   |
| Aumento peso (g)       | 32.5 ± 6.5     | 56.12 ± 10.13  | 84.1 ± 13.7    | 93.75 ± 11.5   | 102.00 ± 19.81 | 100.50 ± 14.37 | 130 ± 23.47    |
| Alimento consumido (g) | 257.37 ± 29.08 | 323.62 ± 46.65 | 408.87 ± 56.61 | 393.12 ± 20.42 | 431.75 ± 41.26 | 443.5 ± 31.71  | 402.85 ± 38.82 |
| PER                    | 1.0 ± 0.22     | 1.35 ± 0.09    | 1.68 ± 0.18    | 1.96 ± 0.18    | 1.85 ± 0.22    | 1.88 ± 0.25    | 2.44 ± 0.27    |
| Digestibilidad (%)     | 58.92 ± 5.28   | 60.91 ± 6.58   | 67.37 ± 3.48   | 65.98 ± 3.39   | 78.46 ± 1.37   | 85.56 ± 1.02   | 89.44 ± 0.62   |

sugiere que es un caldo intermedio al igual que la variedad de Hunapú precoz, Altense, Altense precoz y las demás sugieren que son caldo ralo excepto el frijol Agricultor Ojo de Agua que sugiere un caldo espeso.

Con estas 17 muestras de frijol también se realizó un análisis proximal y los resultados se presentan en el Cuadro 4. Los resultados del porcentaje de proteína, en base seca, entre las variedades se establecen entre 14.34% para la muestra

Superchiva y 29.79% para la muestra ICTA ligero. Estos análisis ayudaron a elegir la variedad más adecuada de frijol para realizar el estudio biológico. La decisión más acertada fue realizar una mezcla de las dos variedades del frijol Agricultor Ojo de Agua y el Frijol Arbustivo Ojo de Agua. Las variedades de Ojo de Agua se eligieron no solo por su caracterización tecnológica sino también por el contenido alto proteico y su contenido bajo de fibra a comparación de las demás variedades.

**Cuadro 6.** Calidad proteica del sorgo blanco, rojo y soya.

| INGREDIENTES           | DIETAS          |                |                |                |                |                |
|------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                        | 1               | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              |
| Maicillo blanco        | 35              | 25             | 15             | 5              | 0              | 0              |
| Maicillo rojo          | 0               | 10             | 20             | 30             | 35             | 0              |
| Harina de soya         | 12              | 12             | 12             | 12             | 12             | 0              |
| Control                | 0               | 0              | 0              | 0              | 0              | 31.2           |
| Minerales              | 4               | 4              | 4              | 4              | 4              | 4              |
| Vitaminas              | 1               | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| Aceite                 | 5               | 5              | 5              | 5              | 5              | 5              |
| Almidón                | 43              | 43             | 43             | 43             | 43             | 58.8           |
| Total                  | 100             | 100            | 100            | 100            | 100            | 100            |
| <b>RESULTADOS</b>      |                 |                |                |                |                |                |
| Proteína en dietas (%) | 10.36 ± 0.1     | 10.15 ± 0.6    | 10.76 ± 0.1    | 10.30 ± 0.5    | 10.85 ± 0.1    | 11.23 ± 0.6    |
| Aumento en peso (g)    | 103.375 ± 13.2  | 105.75 ± 11.23 | 105.5 ± 14.89  | 108.25 ± 13.80 | 107.5 ± 8.32   | 130.88 ± 29.26 |
| Alimento consumido (g) | 401.875 ± 31.06 | 414.5 ± 27.34  | 416.75 ± 31.81 | 433.5 ± 18.81  | 420.88 ± 20.73 | 412.75 ± 45.08 |
| PER                    | 2.48 ± 0.18     | 2.51 ± 0.16    | 2.34 ± 0.23    | 2.42 ± 0.23    | 2.36 ± 0.21    | 2.90 ± 0.39    |

**Cuadro 7.** Calidad proteica de la mezcla de harina de sorgo o maíz con distintos niveles de adición; 5, 10 y 15% de moringa.

| INGREDIENTES                  | DIETAS       |              |              |              |              |               |               |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
|                               | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            | 6             | 7             |
| Harina de maíz nixtamalizada  | 85           | 80           | 0            | 0            | 0            | 90            | 0             |
| Harina de sorgo criollo crudo | 0            | 0            | 85           | 80           | 75           | 0             | 0             |
| Harina de moringa             | 5            | 10           | 5            | 10           | 15           | 0             | 0             |
| Leche descremada              | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0             | 33            |
| Minerales                     | 4            | 4            | 4            | 4            | 4            | 4             | 4             |
| Vitaminas                     | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1             | 1             |
| Aceite                        | 5            | 5            | 5            | 5            | 5            | 5             | 5             |
| Almidón                       | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0             | 57            |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>100</b>   | <b>100</b>   | <b>100</b>   | <b>100</b>   | <b>100</b>   | <b>100</b>    | <b>100</b>    |
| <b>RESULTADOS</b>             |              |              |              |              |              |               |               |
| Proteína en dietas (%)        | 8.96 ± 0.01  | 9.59 ± 0.19  | 10.34 ± 0.24 | 8.24 ± 0.08  | 8.05 ± 0.27  | 8.29 ± 0.04   | 13.29 ± 0.17  |
| Aumento en peso (g)           | 31.5 ± 5.9   | 41.4 ± 5.7   | 54.3 ± 6.7   | 47.8 ± 7.0   | 65.3 ± 11.8  | 27.37 ± 4.4   | 120.25 ± 21.1 |
| Alimento consumido (g)        | 236.1 ± 34.4 | 246.9 ± 32.7 | 286.6 ± 28.6 | 277.5 ± 30.4 | 334.6 ± 41.5 | 226.75 ± 30.2 | 388.87 ± 36.1 |
| PER                           | 1.5 ± 0.2    | 1.8 ± 0.1    | 1.8 ± 0.2    | 2.1 ± 0.1    | 2.4 ± 0.2    | 0.87 ± 0.08   | 2.23 ± 0.22   |
| Digestibilidad (%)            | 81.90 ± 4.89 | 79.34 ± 1.11 | 79.59 ± 1.59 | 79.06 ± 4.55 | 76.50 ± 4.49 | 83.83 ± 1.06  | 88.64 ± 1.37  |



Antes de realizar este tipo de mezclas de granos fue necesario evaluar biológicamente el comportamiento de la mezcla sorgo dulce con soya, mezcla de sorgo blanco y rojo con soya, maíz-moringa, sorgo - moringa. Los resultados de estos tres estudios biológicos se representan en los Cuadros 5, 6 y 7. Analizando el Cuadro 5, podemos concluir lo que se ha comprobado en estudios biológicos anteriores, que el sorgo por sí sólo tiene una digestibilidad de la proteína sumamente baja y que el valor proteico representado como el índice de eficiencia proteica (PER) también es bajo; esto es debido al contenido de taninos que contiene el sorgo. Sin embargo en este estudio se comprobó lo que indica la literatura, que al hacerse mezclas de sorgo con una leguminosa, en este caso soya, se puede ir mejorando la digestibilidad proteica y el PER del alimento. En este caso se puede llegar hasta una mezcla de sorgo-leguminosa 50-50% respectivamente para tener resultados similares de PER a un alimento 100% soya.

Los resultados de los ensayos biológicos de la una mezcla de sorgo blanco y rojo con soya, Cuadro 6, muestra también que existe un mejoramiento de la calidad proteica en el alimento, y que los PER son similares entre las diferentes composiciones de mezcla de maicillo rojo y blanco dejando como una variable fija la cantidad de soya en estas mezclas, por lo que una vez más se prueba que en una mezcla (sorgo blanco y rojo) con leguminosa mejora la calidad proteica en el alimento.

En el Cuadro 7, se muestra la interacción de una verdura, moringa, con un alimento a base de maíz y con un alimento a base de sorgo. Se escogió moringa para este estudio debido a que fue la verdura que contiene porcentaje de proteína más bajo a comparación de las otras verduras evaluadas (ver Cuadro 1). En este estudio biológico se evaluó diferentes porcentajes de adición de moringa (5%, 10% y 15%) en una mezcla de maíz-verdura y sorgo-verdura. Lo anterior se hizo para determinar la cantidad óptima de verdura a utilizar en la mezcla.

Según los resultados obtenidos en este estudio, Cuadro 7, se muestra que si existe una leve diferencia en digestibilidad entre la verdura-maíz y verdura-sorgo, siendo mejor la mezcla de verdura-maíz; sin embargo el PER es más alto en las mezclas que tienen verdura-sorgo, y éste va aumentando junto con el porcentaje de verdura utilizado. Con estos resultados, se tomó la decisión de realizar los siguientes estudios biológicos con un porcentaje de 5% de verdura, con el objeto de aumentar demasiado el contenido de fibra debido a que afecta la digestibilidad proteica. Con la adición del 5% de verdura se puede observar que la digestibilidad fue superior que con una adición del 10 o 15%, lo que sugiere que debe buscarse un equilibrio entre este parámetro y el PER.

Se puede resaltar como algo importante que las verduras utilizadas en este estudio son de crecimiento silvestre junto con el cultivo de maíz y frijol, por lo que este subproducto agrícola puede aprovecharse nutricionalmente como suplemento en un alimento a base de estos granos. Además puede considerarse como una fuente de sustitución de proteína de alta calidad como las de la leche y carne.

## Conclusiones

1. Las verduras autóctonas se consideran una buena fuente de proteína y de fibra, por lo que pueden utilizarse para incrementar el nivel proteico de un alimento a base de una mezcla de granos.
2. El índice de eficiencia proteica (PER) y la digestibilidad, de un producto alimenticio a base de sorgo, se puede mejorar agregándole una leguminosa, como soya o frijol.
3. En el estudio biológico, el PER, incrementa junto con el aumento de porcentaje de moringa agregado en el alimento a base de maíz y en el alimento a base de sorgo.
4. Se obtiene una mejor digestibilidad con el 5% de moringa que con el 10% y 15% en los alimentos mencionados anteriormente y esto es debido a que la verdura contiene un alto porcentaje de fibra.

## Agradecimientos

Al Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) quien por medio del programa *Food for Progress* 2010 (FFP10) financió la ejecución del presente estudio (Contrato OGSM: FCC-520-2010/026-00).

## Bibliografía

- AOAC (1984). *Official Methods of Analysis* 14 th Ed
- Cosentino SL, Mantineo M, Testa G (2012) *Water and nitrogen balance of sweet sorghum (Sorghum bicolor moench (L.)) cv. Keller under semi-arid conditions* Ind Crops Prod **36**: 329-342
- Bressani R, Gonzaga L (1962) *Mezclas de Proteínas Vegetales para Consumo Humano* Archivos Latinoamericanos de Nutrición. **XII** (2): 345-47
- Campos J (2003) Tesis: *Contenido de macronutrientes, minerales y carotenos en plantas comestibles autóctonas de Guatemala* Universidad De San Carlos De Guatemala, Facultad De Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala
- De Poll E (1984) *Plantas Comestibles y Tóxicas de Guatemala* 2a. ed. Guatemala: CECON
- Elías LG, García A, Bressani R (1986) *Métodos para Establecer la Calidad Tecnológica y Nutricional del Frijol*. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Publicación L-33 Guatemala
- Flores M (1961) *Food Pattern in Central American and Panamá* In: *Tradition Science and Practice in Dietetics* Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Congress of Dietetics London
- INCAP (2007) *Tabla de Composición de Alimentos de Centro América*. Menchú, MT (Ed) INCAP/OPS, 2ª edición. Guatemala

# Producción de etanol del sorgo dulce en un ciclo anual<sup>a</sup>

Carlos Rolz<sup>1</sup>, Roberto de León<sup>2</sup>, Ana Luisa Mendizábal de Montenegro<sup>3</sup> & Rolando Cifuentes<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ingeniería Bioquímica, <sup>2</sup>Laboratorio de Ingeniería Bioquímica, <sup>3</sup>Laboratorio de Química Analítica, <sup>4</sup>Centro de Estudios Agrícolas y Forestales, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** Cuatro variedades de sorgo dulce, M81E, Sugar Drip, Top 76-6 y Umbrella, fueron cultivadas en dos sitios experimentales localizados en la costa sur dentro de la región cañera en los años 2011 y 2012. Se efectuaron tres cosechas en cada año calendario, un primer corte y dos retoños consecutivos. Se determinó la productividad del tallo y en el jugo del tallo prensado el contenido de sacarosa, glucosa y fructosa. En muestras representativas del año 2011 del primer corte y del segundo retoño se cuantificó la producción de etanol empleando la técnica de extracción y fermentación simultáneas. La productividad del tallo fresco fue similar para el primer corte y el primer retoño, pero dependiente de la variedad y el sitio. En el segundo retoño disminuyó drásticamente sin excepción. Al considerar únicamente los dos primeros cortes, se encontró que la variedad Top 76-6 obtuvo la mayor productividad del tallo fresco con 47 Mg/ha por corte, o sean 94 Mg/ha en el año, y la mayor productividad de azúcar, equivalente a 5,285 Kg/ha por corte o aproximadamente 11 Mg/ha por año. La proporción de azúcares individuales varió de acuerdo con la variedad, el sitio y el año de siembra. La producción de etanol para las variedades Sugar Drip, Top 76-6 y Umbrella varió entre 200 y 250 g etanol por kg de tallo seco inicial en muestras del primer corte. Sin embargo, disminuyó en todos los casos en muestras del segundo retoño. La productividad del etanol fue mayor para las variedades Umbrella y Top 76-6 e igual, aproximadamente, a 2,500 litros/ha por corte.

**PALABRAS CLAVE:** Sorgo dulce, Productividad de biomasa, Productividad de azúcar, Rendimientos de etanol.

**ABSTRACT:** Four sweet sorghum varieties, M81E, Sugar Drip, Top 76-6 and Umbrella were sowed early in the year in 2011 and 2012 in two experimental plots located in the Guatemalan Pacific lowlands within the sugarcane producing region. Three harvests were done, a first cut and two consecutive ratoon crops. Stalk biomass, stalk sugar content and proportions of individual sugars in the extracted juice were measured. Ethanol production employing simultaneous sugar extraction from stalk particles and fermentation by a commercial yeast strain was carried out in

2011 samples from the first harvest and second ratoon crop. Fresh stalk biomass productivity was the same for the first harvest and the first ratoon crop, but it was dependent on variety and site. The second ratoon crop diminished drastically without exception. Considering only two harvests per year Top 76-6 had the best overall productivity with a rounded average of 47 Mg/ha per harvest, equivalent to 94 Mg/ha per year and the higher sugar productivity, equal to 5,285 Kg/ha per harvest or approximately 11 Mg/ha per year. Proportions of individual sugars at harvest varied among varieties, sites and year. Ethanol production was between 200 and 250 g ethanol per kg of dry stem for Sugar Drip, Top 76-6 and Umbrella varieties for first harvests samples. The data for the second ratoon crop was lower for all varieties and sites. Ethanol productivity was higher for Umbrella and Top 76-6 and equal to approximately 2,500 liters per ha per harvest.

**KEY WORDS:** Sweet sorghum, Biomass productivity, Sugar productivity, Ethanol yields.

## Introducción

La biomasa es una de las materias primas alternativas para producir biocombustibles, sin embargo, es necesario aumentar la productividad de la biomasa por unidad de área y tiempo con el objeto de reducir los actuales costos de producción. El sorgo dulce o azucarado, planta rica en azúcares fermentables, es un cultivo potencial debido a su eficiente C4-fotosíntesis, a su ciclo corto de producción, a su eficiencia en el aprovechamiento del nitrógeno y el agua, su tolerancia a diversos tipos de estrés y a su adaptabilidad a tierras consideradas marginales (Rooney et al 2007; Almodares y Hadi, 2009; Lingle, 2010; Xing y Wang 2011; Calviño y Messing 2012; Zegada-Lizarazu y Monti 2012). Existe también otra consideración importante, especialmente para países en desarrollo con poca o nula producción de petróleo, que favorece al sorgo dulce, y es la producción simultánea de un grano comestible, conocido en el país como maicillo, y que actualmente en el mundo se emplea en la alimentación animal (Blummel et al 2009) y la producción de alimentos consumidos por los humanos (Dicko et al 2006). Lo

<sup>a</sup> Se ha publicado una versión con datos adicionales en la revista Biomass Conversion and Biorefinery año 2014 (en prensa)

anterior convierte al sorgo dulce como un producto de propósitos múltiples que permitiría contribuir, no solo a una seguridad energética, sino también a una seguridad alimenticia.

En la literatura se encuentran sugerencias para manejar la cosecha del sorgo dulce de manera que coincida con el tiempo muerto en el año que tienen las plantas de producción de etanol a partir de las melazas de la caña de azúcar, de manera que puedan producir etanol constantemente (Woods 2001; Guigou et al 2011; Cutz et al 2013). Un escenario alterno, que podría resultar atractivo desde el punto de vista de la optimización de la producción de la biomasa, es un ciclo anual de producción de sorgo dulce, ya que el mismo permite la cosecha de retoños consecutivos. En países de climas templados, debido a las temperaturas extremas en partes del año, lo anterior podría ser imposible. Por ejemplo, se han reportado datos de una pobre productividad del primer retoño en variedades de sorgo dulce sembradas en la parte sur de EEUU (Erickson et al 2011; Han et al 2012). Investigaciones agronómicas en progreso han identificado recientemente híbridos de sorgo dulce capaces de cosechas múltiples (Wang et al 2012). No existen datos publicados en países tropicales a excepción de productividades obtenidas en la estación lluviosa en Indonesia Tsuchihasi y Goto, 2004; 2005).

En este trabajo se informan de los resultados obtenidos para cuatro variedades de sorgo dulce en dos años consecutivos, 2011 y 2012, en dos sitios diferentes de la costa sur, y en tres cortes consecutivos.

## Metodología

### Sembrado del sorgo dulce

Cuatro variedades de sorgo dulce conocidas y descritas genéticamente (Murray et al 2009), M81E, Sugar Drip, Top 76-6 y Umbrella, fueron sembradas en Febrero de los años 2011 y 2012 en dos sitios experimentales, una finca privada, Finca El Paraíso, Coteles, Suchitepéquez (identificado como P en el resto del artículo) a una altitud de 625 msnm y en Campo Sur, UVG, localizado en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla (identificado como CS en el resto del artículo) a 300 msnm. En todos los casos se empleó un diseño de bloques completo al azar con tres réplicas.

En el 2011, en cada unidad experimental se sembraron pilones de 30 días espaciados por 20 cm, en 4 filas de 4 m de largo y una distancia entre filas de 0.5 m, lo cual implicaba una densidad de 100,000 plantas por hectárea. Se emplearon pilones en lugar de semilla para minimizar el daño causado por los pájaros. Se implementó una irrigación entubada por fila con una frecuencia de tres veces por semana hasta el tiempo de cosecha. El régimen de fertilización fue el siguiente: 150 kg de N por ha, un tercio dos semanas después de la siembra, un tercio luego de un mes y el tercio final dos meses después de la primera aplicación; 50 kg de  $P_2O_5$  y 50 kg de  $K_2O$  por ha, dos semanas después de la siembra. El régimen se repitió para los dos retoños.

En el 2012, se sembraron semillas espaciadas por 15 cm en 4 filas de 4 m de largo y una distancia entre filas de 0.5 m, lo cual implicaba una densidad de 133,333 plantas por hectárea. El tiempo de sembrado, la frecuencia de irrigación y las tasas de fertilización fueron las mismas.

### Muestreo, transporte, almacenamiento, molienda y prensado de los tallos

Las muestras consistieron en cuatro a cinco tallos escogidos al azar de diferentes filas cortados a ras de tierra. Se limpiaron manualmente del follaje y de hoja adherida, se les removió la parte superior y se registró su peso. Esta operación se repitió de tres a seis veces para cada variedad, sitio y año. Ese mismo día se envió una muestra compuesta al Campo Central en la ciudad de Guatemala en donde se almacenaron a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta que se procesaron.

Los tallos descongelados se procesaron de la siguiente manera. Se cortó manualmente un segmento de dos de los tallos de cada variedad y de cada sitio. El segmento se escogió entre el segundo y cuarto nudo del tallo, contando de la parte inferior. Luego se partieron en pedazos pequeños empleando un cuchillo y una parte se pulverizó en un molino de laboratorio de alta velocidad (IKA Works A11). Esta muestra compuesta se utilizó para los análisis de humedad y las pruebas de fermentación. El resto de los tallos se prensaron en un trapiche de tres rodos dentados de acero inoxidable accionado por un motor de 2 HP. En el jugo obtenido se determinó el Brix empleando un refractómetro digital (Sper Scientific Ltd Model 3000034). Los azúcares en el tallo y en el jugo fueron analizados por HPLC como se describe más adelante.

### Crecimiento de la levadura, medio de cultivo y producción de etanol

La levadura empleada en los ensayos fue una cepa de *Saccharomyces cerevisiae* empleada en las destilerías del país disponible comercialmente. Se creció en caldo Sabouraud (Merck, 2 % glucosa, 0.5% de peptona animal y 0.5% de peptona de caseína) más un 1 % de sacarosa. Se agregaron 125 mL del caldo a un frasco de 250 mL, se esterilizó a  $121\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 20 min, se enfrió, se inoculó con la levadura y se agitó a 250 rpm a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 48 h (Incubator Shaker Lab Companion Model SI-600). Luego, la suspensión se centrifugó a 4,000 rpm y  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Eppendorf Table-top Refrigerated Centrifuge Model 5804R). El sólido se suspendió en agua deionizada y se ajustó la densidad óptica a 1.6, la cual correspondía a aproximadamente 1.2 g de levadura seca por litro. Un volumen de 100 mL se agregó a un frasco conteniendo una cantidad conocida de sorgo pulverizado,  $31.1 \pm 1.2\text{ g}$ , empleando en promedio 20 g de levadura seca por kg de partículas secas de sorgo. Cada variedad de sorgo se ensayó en duplicado.

Como se muestra en la Gráfica 1 la proporción agua-sólido empleada aseguraba que inicialmente el sorgo estuviera inmerso en la fase líquida de manera de facilitar la extracción de los azúcares y su transformación simultánea a etanol.





**Gráfica 1.** Extracción y fermentación simultáneas del azúcar contenido en partículas del tallo de sorgo dulce suspendidas en agua

Los frascos se mantuvieron a 27 °C por 36 h (*Lab-Line Incubator Imperial III*). Los contenidos se filtraron en papel filtro *Whatman 1004-110*. Los sólidos se lavaron con agua destilada y se descartaron. Los líquidos filtrados se diluyeron a 250 mL y luego, se tomó una alícuota que se centrifugó a 10 °C a 4,000 rpm; en dicha muestra se cuantificaron el etanol y los azúcares por cromatografía, gaseosa y líquida de alta presión respectivamente como se detalla más adelante. Los sólidos se descartaron.

Se empleó una extracción y fermentación simultánea debido a que es una metodología que a escala de laboratorio asegura la extracción prácticamente de todos los azúcares de la matriz sólida y de su conversión a etanol por la levadura (Rolz y de León, 2010; 2011). Por el contrario, cuando se utilizó prensado del tallo en un molino de tres tambores rotatorios en un solo paso, se obtuvo una extracción de solamente un 41 % de extracción del azúcar del tallo en el mejor de los casos. No se deseaba que un factor de una extracción parcial del azúcar, diferente en cada variedad, pudiera ejercer una influencia en los resultados.

### Determinaciones analíticas

La humedad de los tallos de cada variedad se obtuvo de una muestra compuesta de material pulverizado que se deshidrató hasta peso constante a 65 °C. La muestra de cada variedad y sitio para cuantificar los azúcares se preparó de la siguiente manera: aproximadamente 50 g de material pulverizado se mezclaron con 250 mL de agua, se llevaron a ebullición, manteniéndola por 30 min, luego se dejaron enfriar. La suspensión

se filtró con ayuda de vacío empleando papel filtro *Whatman 1004-110*. En el filtrado los azúcares se determinaron empleando un cromatógrafo líquido de alta presión *Agilent 1100*, con un detector de índice de refracción *Agilent 1200*, una columna *Zorbax NH2*, de 25 cm de longitud, 4.6 mm de diámetro interno, y una mezcla de acetonitrilo en agua (70-30) como solvente. En las muestras fermentadas, el etanol se cuantificó empleando un cromatógrafo de gases *Agilent 6890*, con una columna *HP-Plot Q* de 30 m de longitud y 32 mm de diámetro interno.

### Análisis estadístico

Los análisis de variancia se realizaron empleando *Stata Versión 9*.

## Resultados y discusión

### Ciclo de producción y rendimiento del tallo

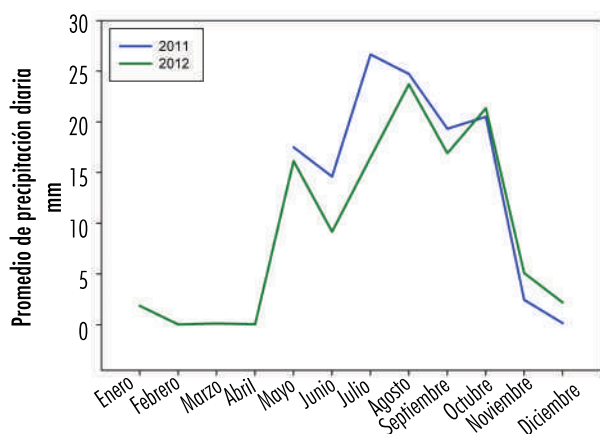
Un ciclo de producción de 116, 112 y 95 días se observó para las variedades de sorgo dulce en los dos sitios durante el año 2011 para el primer corte y los dos retoños respectivamente. En el 2012, el ciclo fue de 96, 104 y 113 días en el sitio P y 101, 107 y 112 días en el sitio CS. El tiempo de corte se estimó evaluando las características del grano en la panoja. En todos los casos el ciclo estuvo por debajo, pero cerca, de los cuatro meses que se informan como un promedio en la literatura (Lingle, 2010; Zegada-Lizarazu y Monti 2012). Además las cifras coinciden aproximadamente con aquellas informadas para las variedades Wray, Keller y Rio en Indonesia (Tsuchihashi y Goto 2004) y las variedades Keller, Wray y Madhura en India (Ratnavathi et al 2010). Se observa que el hecho de haber empleado pilones de 30 días en el 2011 no afectó el ciclo de producción. Los pilones se emplearon para evitar daño de las semillas por los pájaros, pero se observó en el año 2012 que fue una precaución que resultó innecesaria.

El estado de madurez fue alcanzado por todas las variedades aproximadamente al mismo tiempo. Resultados similares han sido reportados en Indonesia (Tsuchihashi y Goto 2004). Sin embargo, en climas templados algunas variedades maduran más tarde, como la M81E y la Top 76-6, mientras que otras son precoces como la Dale (Erickson et al 2012). Podría ser que estas diferencias se deban a la intensidad de la radiación y el tiempo de cobertura nubosa de acuerdo con la latitud. Como se muestra en las Gráficas 2 y 3 para el sitio CS, la tendencia de la precipitación pluvial y la temperatura ambiente fue similar en los dos años considerados. Lamentablemente no se registraron datos para el sitio P, aunque debido a su proximidad se estima que la diferencia pudo haber sido pequeña.

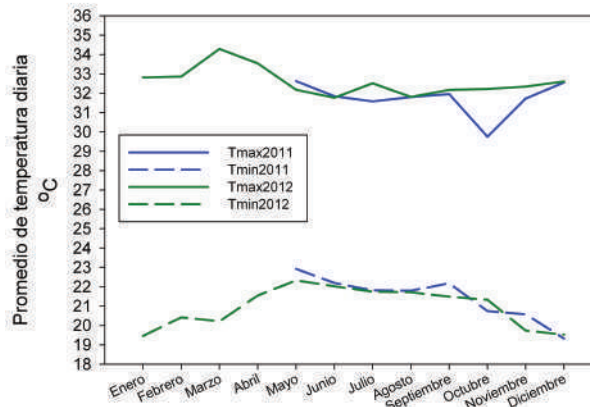
La siembra inicial se realizó en el segundo mes del año cuando ocurre muy poca precipitación pluvial, las noches son frías y los días cálidos debido a la poca nubosidad. La primera cosecha se efectuó al inicio de la época lluviosa. El primer retoño se desarrolló y se cosechó en plena época lluviosa. El segundo retoño se cosechó al comenzar la estación seca.

Los datos de la productividad del tallo se muestran en las Gráficas 4 y 5. Puede observarse inmediatamente que la productividad

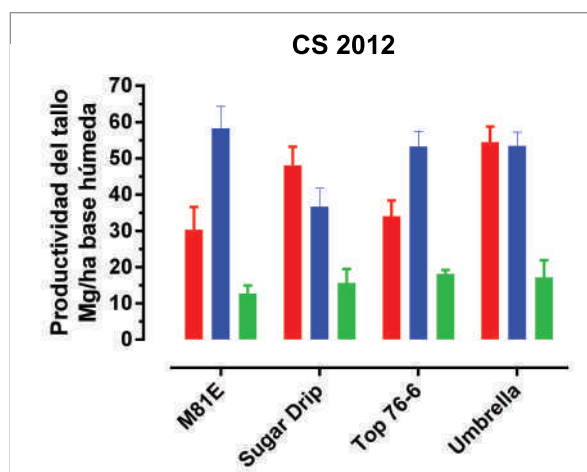
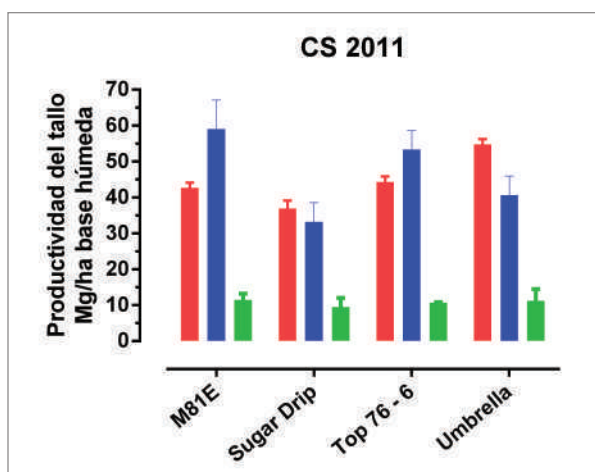
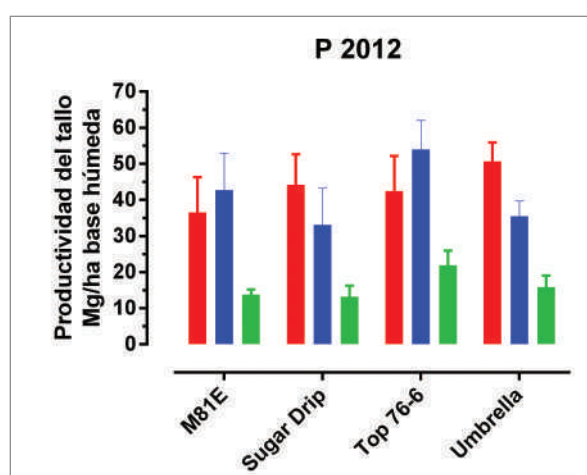
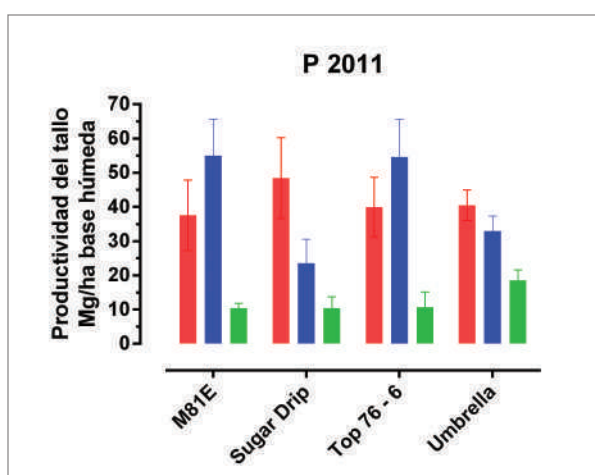




Gráfica 2. Promedio diario de la precipitación pluvial en el sitio CS durante los años 2011 y 2012



Gráfica 3. Promedio diario de la temperatura máxima y la mínima en el sitio CS durante los años 2011 y 2012



Gráfica 4. Productividad del tallo fresco en Mg/ha para ambos sitios en el 2011. La primera barra en cada variedad identifica el primer corte. La segunda y la tercera barras identifican a los dos retoños respectivamente.

Gráfica 5. Productividad del tallo fresco en Mg/ha para ambos sitios en el 2012. La primera barra en cada variedad identifica el primer corte. La segunda y la tercera barras identifican a los dos retoños respectivamente.

del segundo retoño en todos los casos descendió drásticamente. Es probable que la causa haya sido el resultado del ataque de plagas y microorganismos que proliferaron dada las condiciones

de humedad del suelo y el ambiente. Ya en el primer retoño se observó un daño foliar apreciable seguida de una defoliación, tal como se aprecia en la Gráfica 6.



**Gráfica 6.** Estado de la plantación en el sitio CS en el año 2011. De izquierda a derecha, primera, segunda y tercera cosecha. El daño foliar y la disminución en la densidad de plantas en la cosecha del segundo retoño son evidentes.

Los datos experimentales obtenidos en la primera cosecha estuvieron por debajo de las productividades logradas en EEUU (Tew et al 2008; Teetor et al 2011; Erickson et al 2012). Sin embargo, cuando se comparan con cifras equivalentes obtenidas en regiones tropicales en Indonesia en plantaciones con un espaciamiento en la fila de 0.1 m y entre filas de 0.75 m (Tsuchihashi y Goto 2004; 2005) y en India con espaciamiento de 0.15 en la fila y de 0.45 entre filas (Rajendran et al 2000) los datos de este trabajo están ligeramente arriba,. En China se han reportado cifras entre 20 hasta 96 Mg/ha (Zhao et al 2009) y en Irán entre 30 y 52 Mg/ha (Almodares y Darany 2006).

Por otro lado, al observar los datos experimentales del primer corte y del primer retoño se observa que fueron similares en orden de magnitud, siendo la respuesta variable para cada variedad. En el Cuadro 1 se presenta el promedio y la desviación estándar para cada caso. Como se mencionó en la introducción los datos de este trabajo difieren de aquellos obtenidos en la parte sur de EEUU en donde se han reportado datos de una pobre productividad del primer retoño (Erickson et al 2011; Han et al 2012). Nuestros resultados evidencian que en Guatemala y en regiones de clima similar, puede obtenerse un segundo retoño. Entre las variedades ensayadas la mejor fue la Top 76-6 con un promedio por corte igual a 47 Mg/ha, equivalente a

94 Mg/ha-año, al contemplar un primer corte seguido de un primer retoño.

El análisis de variancia (ANDEVA) por año, en donde la productividad fue la variable dependiente y la variedad, sitio y corte fueron las variables independientes, mostró los resultados siguientes para el primer año: la variedad (F : 13.39, P : 0.0000) el sitio (F : 5.96, P : 0.0168) y la interacción variedad\*corte fueron factores significativos. Para el segundo año: la variedad (F : 4.98, P : 0.0055) el sitio (F : 5.01, P : 0.0317) y las tres interacciones binarias.

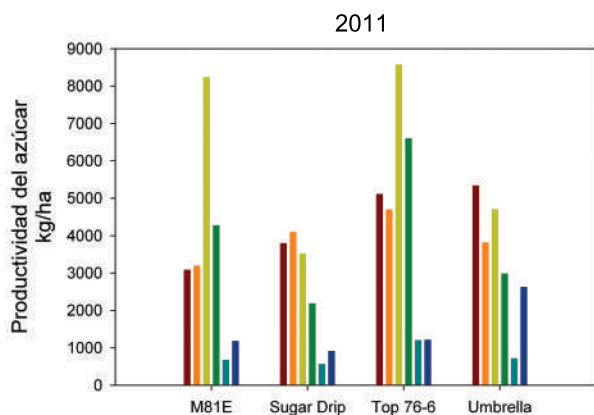
## Productividad del azúcar y proporción de azúcares al corte

El sorgo dulce, al igual que la caña de azúcar, acumula azúcar en las células del parénquima del tallo durante su desarrollo; sin embargo, y en forma contraria a la caña de azúcar, el tallo maduro del sorgo dulce contiene apreciables cantidades de glucosa y fructosa, además de la sacarosa (Ferraris y Charles-Edwards 1986; Smith et al 1987; Lingle 2010).

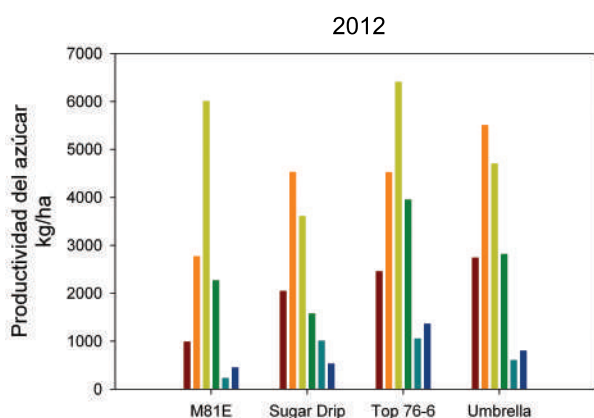
La productividad del azúcar se muestra en las Gráficas 7 y 8. Se observa que las cifras correspondientes al segundo retoño

**Cuadro 1.** Promedio y desviación estándar de la productividad del tallo fresco para el primer corte y el primer retoño.

| Año  | Variedad   | Sitio         |               |              |               |
|------|------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
|      |            | P             |               | CS           |               |
|      |            | Corte         |               |              |               |
|      |            | Primero       | Retoño        | Primero      | Retoño        |
| 2011 |            |               |               |              |               |
|      | M81E       | 37.57 ± 10.30 | 55.00 ± 10.72 | 42.68 ± 2.04 | 59.09 ± 11.38 |
|      | Sugar Drip | 48.42 ± 11.85 | 23.55 ± 6.70  | 36.94 ± 3.07 | 33.22 ± 7.50  |
|      | Top 76-6   | 39.96 ± 8.67  | 54.63 ± 11.07 | 44.33 ± 2.17 | 53.32 ± 7.54  |
|      | Umbrella   | 40.46 ± 4.48  | 32.96 ± 2.80  | 54.82 ± 1.99 | 40.69 ± 7.36  |
| 2012 |            |               |               |              |               |
|      | M81E       | 36.54 ± 7.04  | 42.75 ± 9.33  | 30.33 ± 1.58 | 58.25 ± 8.80  |
|      | Sugar Drip | 44.15 ± 6.78  | 33.11 ± 2.83  | 48.07 ± 2.83 | 36.67 ± 4.04  |
|      | Top 76-6   | 42.48 ± 2.02  | 53.94 ± 8.17  | 34.05 ± 4.09 | 53.27 ± 1.54  |
|      | Umbrella   | 50.67 ± 3.10  | 35.50 ± 1.19  | 54.46 ± 3.91 | 53.43 ± 7.48  |



Gráfica 7. Productividad del azúcar en kg/ha en el año 2011 en los dos sitios. Las primeras dos barras de cada variedad identifican el primer corte, las barras 3 y 4 al primer retoño, las barras 5 y 6 al segundo retoño. En cada grupo de barras el sitio CS es primero, seguido del sitio P.



Gráfica 8. Productividad del azúcar en kg/ha en el año 2012 en los dos sitios. Las primeras dos barras de cada variedad identifican el primer corte, las barras 3 y 4 al primer retoño, las barras 5 y 6 al segundo retoño. En cada grupo de barras el sitio CS es primero, seguido del sitio P.

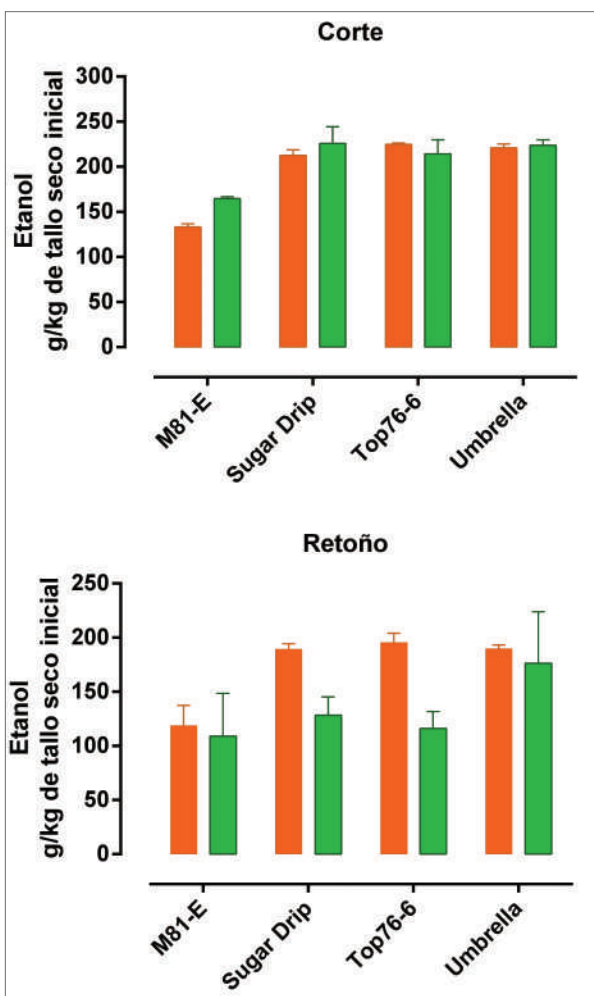
disminuyeron de nuevo drásticamente; debido principalmente a la baja productividad del tallo de ese corte, como anteriormente se informó.

Un ANDEVA realizado con los datos experimentales del primer corte y del primer retoño indicó que ni el corte, el año, el sitio o la variedad fueron significativos, aunque el año ( $F: 3.95$ ;  $P: 0.0580$ ) y la variedad ( $F: 2.64$ ;  $P: 0.0718$ ) estuvieron cerca de serlo. La variedad que mostró mayor productividad fue la Top 76-6 con cifras iguales a 5,285 Kg/ha por corte o 10.57 Mg/ha por año, de nuevo tomando en cuenta dos cortes al año.

La proporción de los azúcares individuales mostrados en el Cuadro 2 fueron diferentes tanto entre variedades, como entre sitios, cortes y año. La variación encontrada podría ser consecuencia de la diversidad genética entre variedades (Murray et al 2009; Wang et al 2009; Audilakshmi et al 2010; Pei et al 2010) y también ha sido reportada previamente (Teetor et al 2011). Es así, que el contenido de sacarosa informado ha oscilado entre 57 y 87 % del total de azúcares; la glucosa, que generalmente predomina sobre la fructosa, se ha encontrado en un intervalo entre el 13 y el 28 % (Curt et al 1995; 1998; Amaducci et al 2004; Sipos et al 2009; Audilakshmi et al 2010). La acumulación del azúcar en el tallo es un proceso regulado por varias enzimas (Qazi et al 2012; Yang et al 2013) y se conoce que una baja actividad de la enzima invertasa ácida soluble (SAI) acoplada a una alta actividad de la sacarosa fosfato sintasa (SPS) promueve altas concentraciones de azúcar en el tallo. Los autores encontraron una correlación lineal significativa entre la actividad SAI y el contenido de glucosa más fructosa de varias variedades de sorgo dulce; como también entre la diferencia de SPS y SAI y el contenido de glucosa más fructosa (Yang et al 2013). Estos hallazgos bioquímicos podrían sustentar también la variación en la proporción de azúcares.

Cuadro 2. Proporción de azúcares individuales expresados como el porcentaje redondeado de los azúcares totales.

| Variedad   | Sitio P  |    |    |        |    |    |          |    |    |        |    |    |
|------------|----------|----|----|--------|----|----|----------|----|----|--------|----|----|
|            | Año 2011 |    |    |        |    |    | Año 2012 |    |    |        |    |    |
|            | Primero  |    |    | Retoño |    |    | Primero  |    |    | Retoño |    |    |
|            | G        | F  | S  | G      | F  | S  | G        | F  | S  | G      | F  | S  |
| M81E       | 28       | 24 | 47 | 21     | 8  | 71 | 12       | 8  | 80 | 17     | 10 | 73 |
| Sugar Drip | 33       | 19 | 48 | 21     | 24 | 55 | 12       | 6  | 82 | 8      | 5  | 87 |
| Top 76-6   | 25       | 21 | 54 | 14     | 13 | 73 | 10       | 6  | 84 | 10     | 6  | 84 |
| Umbrella   | 37       | 29 | 34 | 22     | 19 | 59 | 12       | 7  | 81 | 10     | 7  | 83 |
|            | SitioCS  |    |    |        |    |    |          |    |    |        |    |    |
|            | Año 2011 |    |    |        |    |    | Año 2012 |    |    |        |    |    |
|            | Primero  |    |    | Retoño |    |    | Primero  |    |    | Retoño |    |    |
|            | G        | F  | S  | G      | F  | S  | G        | F  | S  | G      | F  | S  |
| M81E       | 17       | 15 | 68 | 24     | 10 | 66 | 27       | 13 | 60 | 15     | 4  | 81 |
| Sugar Drip | 11       | 14 | 75 | 11     | 10 | 79 | 37       | 17 | 46 | 27     | 5  | 68 |
| Top 76-6   | 13       | 10 | 77 | 16     | 10 | 75 | 19       | 11 | 70 | 10     | 4  | 86 |
| Umbrella   | 18       | 18 | 65 | 23     | 14 | 63 | 22       | 9  | 69 | 33     | 5  | 62 |



**Gráfica 8.** Producción de etanol en g por kg de tallo seco inicial para todas las variedades en los dos sitios en el año 2011 en muestras del primer corte y del segundo retoño. La primera barra de todos los casos corresponde al sitio P. La segunda barra al sitio CS.

## Producción de etanol

Los datos experimentales de la producción de etanol con muestras del primer corte y del segundo retoño en el año 2011 se encuentran en la Gráfica 9. Puede observarse que para el primer corte la producción de etanol de las variedades Sugar Drip, Top 76-6 y Umbrella estuvo entre los 200 y 250 g por kg de tallo seco inicial en ambos sitios. Un ANDEVA de los datos del primer corte mostró diferencias significativas entre variedades ( $F: 29.20$ ,  $P: 0.0001$ ) pero no hubo diferencias en cuanto al sitio de experimentación o entre la interacción de ambas variables. Resalta en la gráfica que los datos experimentales con muestras del segundo retoño estuvieron por debajo de las anteriores en todos los casos. Un ANDEVA para estas muestras mostró diferencias significativas entre variedades ( $F: 5.44$ ,  $P: 0.0247$ ) y entre los sitios ( $F: 10.99$ ,  $P: 0.01067$ ) pero la interacción no fue significativa. La producción de etanol fue mayor para todas las variedades en el sitio P que en el sitio CS.

La concentración final de etanol en el frasco estuvo lo suficiente baja para evitar inhibición de la levadura. Por otro lado, el

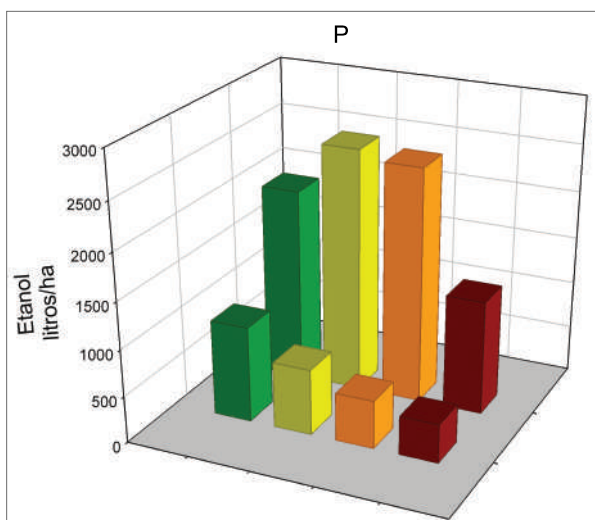
consumo del azúcar inicial durante la fermentación estuvo entre 96 a 100 % y entre 85 al 95 % de la cantidad inicial para las muestras del primer corte y del segundo retoño respectivamente. Por lo tanto, las diferencias encontradas en la producción de etanol entre variedades pudo haberse originado por la presencia de inhibidores en ciertas variedades, como se ha sugerido recientemente (Ratnavathi et al 2010; Chohnan et al 2011). Se piensa que la variación de la proporción de los azúcares individuales entre las variedades y el sitio no influyó en la producción de etanol ya que se conoce el mecanismo de transporte que emplea la levadura para utilizarlos, en el cual, la glucosa es el azúcar preferido, la sacarosa se hidroliza en glucosa y fructosa en la membrana celular, los cuales se transportan luego al interior de la célula (Berthels et al 2004; Pérez et al 2005).

La productividad de etanol expresada en litros de etanol por ha puede calcularse de los datos anteriores. Los resultados se encuentran en las Gráficas 10 y 11. La disminución de la producción en el segundo retoño es evidente en ambos sitios experimentales.

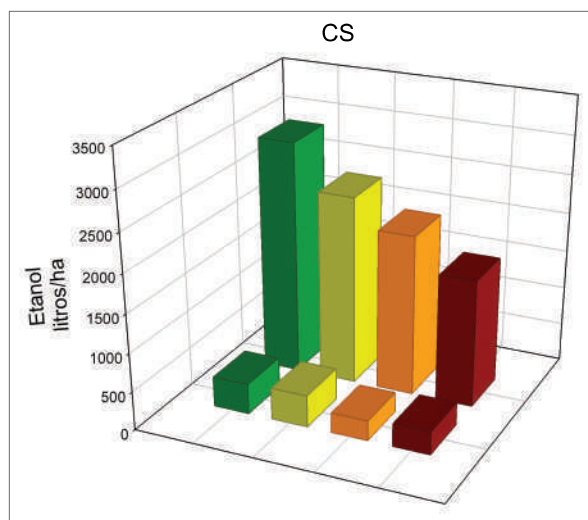
Con las muestras del primer corte la producción promedio en ambos sitios fue mayor para Umbrella y Top 76-6 con 2,517 y 2,533 litros por ha aproximadamente. Varios autores han reportado datos de la productividad del etanol, aunque las mismas han sido estimadas de los datos experimentales de productividad del tallo y de su contenido de azúcar. La estimación se ha basado en factores de conversión generalmente obtenidos de la industria de la caña de azúcar y las destilerías anexas. Sin embargo las comparaciones son válidas y permiten confirmar los resultados acá reportados. Para las variedades Dale, M81E, Rio, Theis y Topper cosechadas a los 119 días las productividades estimadas fueron de 3,380, 2780, 3,000, 2,950 and 2,620 litros por ha (Tew et al 2008). Miller y Ottman (2010) reportaron valores entre 2,639 a 2,878 litros por ha para la variedad M81E. Un extenso programa con varias variedades reportó un valor promedio de 3,611 litros por ha (5.69 Mg de azúcar por ha)(Erickson et al 2011). Recientemente Dutra et al (2013) en Brazil, empleando las variedades Rio, Dale, Willey y Wray, obtuvieron cifras desde 949 hasta 2,066 litros por ha. Para híbridos desarrollados en India, cifras desde 925 hasta 1,440 litros por ha. Por el contrario, cuando se emplean molinos piloto sin presión auxiliar, ni jugo circulando en contracorriente, los datos son definitivamente más bajos por la incompleta extracción de los azúcares del tallo (Rutto et al 2013). Los ejemplos anteriores permiten comparar las productividades obtenidas en este trabajo con muestras del primer corte mostradas en las gráficas 12 y 13 y concluir que las mismas estuvieron dentro del mismo orden de magnitud.

No se han publicado datos de pruebas industriales de la producción de etanol de tallos de sorgo dulce. En Australia (Webster et al 2004) se informó de una extracción de azúcar entre 70 y 80 %, pero se enfatizó que la eficiencia podía incrementarse fácilmente realizando los ajustes mecánicos necesarios. En Zimbabwe (Woods 2001) se realizaron dos pruebas industriales con las variedades Keller y Cowley, obteniendo una productividad promedio de 3,000 litros de etanol por ha.





Gráfica 10. Productividad de etanol en L por ha para el sitio P



Gráfica 11. Productividad de etanol en L por ha para el sitio CS

## Conclusiones

- De acuerdo con los resultados experimentales obtenidos puede decirse que en Guatemala variedades de sorgo dulce pueden ser sembradas a principios del año en la costa sur del país, obteniéndose una primera cosecha a los 96-106 días, y luego, un primer retoño a los 104-112 días. Los resultados mostraron que la productividad del tallo fresco fue similar para ambos cortes, pero dependía de la variedad considerada y el sitio. La variedad Top 76-6 tuvo la mayor productividad con un promedio redondeado de 47 Mg/ha por corte, lo cual equivaldría a 94 Mg/ha por año, considerando dos cortes. En todos los casos la cosecha del segundo retoño fue relativamente baja, posiblemente debido al ataque de plagas y microorganismos patógenos, estimulados por la intensidad de precipitación entre Julio y Octubre.
- La variedad Top 76-6 también mostró la mayor productividad de azúcar en ambos cortes, igual a 5,255 kg/ha por corte, equivalente a aproximadamente 11 Mg/ha por año, considerando dos cortes. La productividad del azúcar en el segundo retoño disminuyó en todos los casos debido a la baja productividad del tallo.
- La proporción de los azúcares individuales varió de acuerdo a la variedad, el sitio, el corte y el año.
- La producción de etanol expresada como g de etanol por kg de tallo seco estuvo entre 200 y 250 para las variedades Sugar Drip, Top 76-6 y Umbrella en el primer corte. Los datos correspondientes al segundo retoño fueron más bajos en todos los casos. La productividad del etanol expresada en litros de etanol por ha por corte fue mayor en las variedades Umbrella y Top 76-6 con cifras de 2,553 y 2,517,

respectivamente. Dada la similitud de productividad del tallo y del azúcar en las muestras del primer corte y del primer retoño, es posible extrapolar las cifras anteriores a 5,066 y 5,034 litros de etanol por ha por año para las variedades citadas.

## Agradecimiento

El trabajo experimental fue financiado, en parte, por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) quien por medio del programa Food for Progress 2010 (FFP10) financió la ejecución del presente estudio (Contrato OGS: FCC-520-2010/026-00) y por el proyecto FODECYT 009-2011 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), Guatemala.

## Bibliografía

- Almodares A, Darany SMM (2006) Effects of planting date and time of nitrogen application on yield and sugar content of sweet sorghum J Environ Biol **27**: 601-605
- Almodares A, Hadi MR (2009) Production of bioethanol from sweet sorghum: A review African J Agric Res **4**: 772-780
- Amaducci S, Monti A, Venturi G (2004) Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques Ind Crops Prod **20**: 111-118
- Audilakshmi S, Mall AK, Swarnalatha M, Seetharama N (2010) Inheritance of sugar concentration in stalk (brix), sucrose content, stalk and juice yield in sorghum Biomass Bioenerg **34**: 813-820
- Berthels NJ, Cordero-Otero RR, Bauer FF, Thevelein JM, Pretorius IS (2004) Discrepancy in glucose and fructose utilisation during fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* wine yeast strains FEMS Yeast Res **4**: 683-689

- Blummel M, Rao SS, Palaniswami S, Shah L, Reddy BVS (2009) Evaluation of sweet sorghum used for bio-ethanol production in the context of optimizing whole plant utilization *Anim Nutr Feed Technol* **9**: 1-10
- Calviño M, J Messing (2012) Sweet sorghum as a model system for bioenergy crops *Curr Op Biotechnol* **23**: 323-329
- Chohnan S, Nakane M, Rahman MH, Nitta Y, Yoshiura T, Ohta H, Kurusu Y (2011) Fuel ethanol production from sweet sorghum using repeated-batch fermentation *J Biosci Bioeng* **111**: 433-436
- Curt MD, Fernandez J, Martínez M (1995) Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Keller in relation to water regime *Biomass Bioenerg* **8**: 401-409
- Curt MD, Fernandez J, Martínez M (1998) Productivity and radiation use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Keller in central Spain *Biomass Bioenerg* **14**: 169-178
- Cutz L, Sánchez-Delgado S, Ruiz-Rivas U, Santana D (2013) Bioenergy production in Central America: Integration of sweet sorghum into sugar mills *Renew Sustain Energy Rev* **25**: 529-542
- Dicko MH, Gruppen, H, Traoré AS, Voragen AGJ, van Berkel WJH (2006) Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities *African J Biotechnol* **5**: 384-395
- Dutra ED, Barbosa Neto AG, Barros de Souza R, De Moraes Jr MA, Tabosa JN, Menezes RSC (2013) Ethanol production from the stem juice of different sweet sorghum cultivars in the state of Pernambuco, Northeast of Brazil *Sugar Tech* **15**: 316-321
- Erickson JE, Helsel ZR, Woodward KR, Vendramini JMB, Wang Y, Sollenberger LE, Gilbert RA (2011) Planting date affects biomass and brix of sweet sorghum grown for biofuel across Florida *Agr J* **103**: 1827-1833
- Erickson JE, Woodward KR, Sollenberger LE (2012) Optimizing sweet sorghum production for biofuel in the Southeastern USA through nitrogen fertilization and top removal *Bioenerg Res* **5**: 86-94
- Ferraris R, Charles-Edwards DA (1986) A comparative analysis of the growth of sweet and forage sorghum crops. II Accumulation of soluble carbohydrates and nitrogen *Austr J Agric Res* **37**: 513-522
- Guigou M, Lareo C, Pérez LV, Lluberas ME, Vázquez D, Ferrari MD (2011) Bioethanol production from sweet sorghum: evaluation of post-harvest treatments on sugar extraction and fermentation *Biomass Bioenerg* **35**: 3058-3062
- Han KJ, Pitman WD, Alison MW, Harrell DL, Viator HP, McCormick ME, Gravois KA, Kim M, Day DF (2012) Agronomic considerations for sweet sorghum biofuel production in the south-central USA *Bioenerg Res* **5**: 748-758
- Lingle SE (2010) Opportunities and challenges of sweet sorghum as a feedstock for biofuel. In: Eggleston G, editor. Sustainability of the sugar and sugarethanol industries *American Chemical Society Symposium Series* **1058**: 177-188
- Miller AN, Ottman MJ (2010) Irrigation frequency effects on growth and ethanol yield in sweet sorghum *Agronomy J* **102**: 60-70
- Murray SC, Rooney WL, Hamblin MT, Mitchell SE, Kresovich S (2009) Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for brix and height *The Plant Genome* **2**: 48-62
- Pei Z, Gao J, Chen Q, Wei J, Li Z, Luo F, et al (2010) Genetic diversity of elite sweet sorghum genotypes assessed by SSR markers *Biol Plantarum* **54**: 653-658
- Perez M, Luyten K, Michel R, Riou C, Blondin, B (2005) Analysis of *Saccharomyces cerevisiae* hexose carrier expression during wine fermentation: both low- and high-affinity Hxt transporters are expressed. *FEMS Yeast Res* **5**: 351-361
- Qazi HA, Paranjpe S, Bhargave S (2012) Stem sugar accumulation in sweet sorghum – Activity and expression of sucrose metabolizing enzymes and sucrose transporters *J Plant Physiol* **169**: 605-613
- Rajendran C, Ramamoorthy K, Backiyarani S (2000) Effect of deheading on juice quality characteristics and sugar yield of sweet sorghum *J. Agron Crop Sci* **185**: 23-26
- Rao SS, Patil JV, Umakanth AV, Mishra JS, Ratnavathi JV, Prasad GS, Rao RD (2013) Comparative performance of sweet sorghum hybrids and open pollinated varieties for millable stalk yield, biomass, sugar quality traits, grain yield and bioethanol production in tropical Indian conditions *Sugar Tech* **15**: 250-257
- Ratnavathi CV, Suresh K, Vijay Kumar BS, Pallavi M, Komala VV, Seetharama M (2010) Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice *Biomass Bioenerg* **34**: 947-952
- Rolz C, de León R (2010) Converting developing and mature sugarcane carbohydrates into ethanol *Eng Life Sci* **10**: 439-445
- Rolz C, de León R (2011) Ethanol fermentation from sugarcane at different maturities *Ind Crop Prod* **33**: 333-337
- Rooney WL, Blumenthal J, Bean B, Mullet JE (2007) Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock *Biofuels Bioprod Bioref* **1**: 147-157
- Rutto LK, Xu Y, Brandt M, Ren S, Kering MK (2013) Juice, ethanol, and grain yield potential of five sweet sorghum cultivars *J Sustain Bioenerg Syst* **3**: 113-118
- Sipos B, Réczey J, Somorai Z, Kádár Z, Dienes D, Réczey K (2009) Sweet sorghum as feedstock for ethanol production: enzymatic hydrolysis of steam-pretreated bagasse *Appl Biochem Biotechnol* **153**: 151-162
- Smith GA, Bagby MO, Lewellan RT, Doney DL, Moore PH, Hills FJ, et al (1987) Evaluation of sweet sorghum for fermentable sugar production potential *Crop Sci* **27**: 788-793
- Teetor VH, Duclos DV, Wittenberg ET, Young KM, Chawhuaymark J, Riley MR, Ray DT (2011) Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona *Ind Crops Prod* **34**: 1293-1300
- Tew TL, Cobill RM, Richard EP (2008) Evaluation of sweet sorghum and sorghum x sudan grass hybrids as feedstocks for ethanol production *Bioenerg Res* **1**: 147-152
- Tsuhishashi N, Goto Y (2004) Cultivation of sweet sorghum and determination of its harvest time to make us as the raw material for fermentation, practice during rainy season of dry land of Indonesia *Plant Prod Sci* **7**: 442-448
- Tsuhishashi N, Goto Y (2005) Internode characteristics of sweet sorghum during dry and rainy seasons in Indonesia *Plant Prod Sci* **8**: 601-607
- Wang M, Xin Z, Tonniss B, Farrell G, Pinnow D, Chen Z, Davis J, Yu J, Hung YC, Pederson GA (2012) Evaluation of sweet sorghum as a feedstock by multiple harvests for sustainable bioenergy production *J Sustain Bioenerg Syst* **2**: 122-137
- Wang ML, Zhu Ch, Barkley NA, Chen Zh, Erpelding JE, Murray SC, et al (2009) Genetic diversity and population structure analysis of accessions in the US historic sweet sorghum collection *Theor Appl Genet* **120**: 13-23
- Webster AJ, Hoare CP, Sutherland RF, Keating BA (2004) Observations of the harvesting, transporting and trial crushing of sweet sorghum in a sugar mill *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.* **26**: 2004 (las páginas no están numeradas)
- Woods J (2001) The potential for energy production using sweet sorghum in southern Africa *Energy Sus Dev* **5**: 31-38
- Xin Z, ML Wang (2011) Sorghum as a versatile feedstock for bioenergy production *Biofuels* **2**: 577-588
- Yang L, Bao-qing D, Xiang-na Z, Mei-qi Y, Ming L, Gui-ying L (2013) Correlation analysis between key enzyme activities and sugar content in sweet sorghum stems at physiological maturity stage *Aus J Crop Sci* **7**: 84-92
- Zegada-Lizarazu W, Monti A (2012) Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices *Biomass Bioenerg* **40**: 1-12
- Zhao YL, Dolat A, Steinberger Y, Wang X, Osman A, Xie GH (2009) Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel *Field Crops Res* **111**: 55-64

# Emisión de gases en vehículo experimental diésel-biodiésel

Gamaliel Zambrano Ruano, Cristián Rossi Sosa & José Andrés Hernández Gaitán

Centro de Procesos Industriales, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** Se ha notado una reducción de hasta el 71.58 % en las emisiones de monóxido de carbono del vehículo pick-up Nissan Frontier 2012, al utilizar biodiésel (B100) en lugar de diésel, comparado con otro vehículo similar que utilizó únicamente diésel. Se estudió la correlación entre la concentración de biodiésel presente en la mezcla de combustible y las emisiones de gases de combustión a diferentes revoluciones por minuto (750, 2000 y 3000 rpm). A la vez se monitoreó el rendimiento del vehículo el cual se redujo en un 11.82 % al utilizar biodiésel (B100) en comparación con el rendimiento teórico del vehículo. Esto se debió a que el biodiésel tiene un poder calorífico menor al diésel lo cual provocó que se incrementara su consumo. Por último se pudo observar un incremento de hasta 59.52 % y 124.28 % para los gases NO y NOx respectivamente, debido a las condiciones de la combustión para motores diesel.

**PALABRAS CLAVE:** emisiones, gases de efecto invernadero, poder calorífico.

## Gaseous emissions in an experimental diesel-biodiesel vehicle

**ABSTRACT:** There was a reduction of up to 71.58% in emissions of carbon monoxide from the vehicle, pick-up Nissan Frontier 2012, using biodiesel (B100) instead of diesel, compared to a similar vehicle that used diesel only. We studied the correlation between the concentration of biodiesel in the mixture of fuel and emissions of combustion gases at different revolutions per minute (750, 2000 and 3000 rpm). The performance of the vehicle was monitored, having a reduction in fuel efficiency of 11.82% when using biodiesel (B100), compared with the theoretical efficiency of the vehicle. This is due to lower calorific value of biodiesel compared to diesel, which causes consumption increases. Finally we observed an increase of up to 59.52% and 124.28% for NO and NOx combustion gases respectively, due to the conditions of combustion for diesel engines.

**KEY WORDS:** emissions, Greenhouse effect gases, calorific power.

## Introducción

En los últimos años se ha realizado un esfuerzo por diferentes entidades no gubernamentales para promover el uso de biocombustibles en Guatemala. Dentro de los principales biocombustibles a impulsar, se encuentra el biodiésel. Sin embargo aún existen muchos mitos acerca de los biocombustibles que provocan cierta dificultad para ser utilizados, siendo uno de los objetivos de este artículo proveer información con respecto a uno de ellos: combustión del biodiésel y sus emisiones.

Las emisiones de gases de combustión (óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, entre otros), los cuales generan diferentes problemas al medio ambiente y a la salud, se pueden encontrar cada año en mayor concentración en la atmósfera terrestre. Según el comunicado de prensa No. 980 de la Organización Meteorológica Mundial, la concentración atmosférica mundial de CO<sub>2</sub> ha aumentado en un 41 % desde 1750 a la fecha. En su mayoría, este CO<sub>2</sub> se debe a la combustión de combustibles fósiles, por lo que también se tiene un aumento considerable en la concentración de CO en la atmósfera. Tanto el dióxido de carbono, como el monóxido de carbono son nocivos para el ambiente y la salud de los seres humanos.

Al utilizar biocombustibles se reduce la cantidad de gases contaminantes que se generan a la hora de realizar la combustión (EPA420-P-02-001). En el caso de un motor diésel, la combustión ocurre al comprimir aire a presiones y temperaturas elevadas de forma que al inyectar el diésel se origina una auto ignición, sin embargo esto puede generar altos contenidos de monóxido de carbono, un gas nocivo para la salud humana, debido a combustiones incompletas (Nordin, 2013). El utilizar biodiésel disminuye la concentración de monóxido de carbono y dióxido de carbono presentes en los gases de combustión debido a que una molécula de biodiésel contiene entre 12 y 18 carbonos, mientras que las moléculas de diésel pueden llegar a tener hasta 20 carbonos, lo cual aumenta considerablemente las concentraciones de dióxido y monóxido de carbono presentes en los gases de combustión.



Gráfica 1. Analizador de Gases Bacharat, modelo ECA 450

En este artículo se analizaron los gases de combustión de dos vehículos, pick up *Nissan Frontier* 2012, sin modificaciones al motor, utilizando en uno mezclas de biodiésel y en el otro únicamente diésel. Se analizaron los gases de combustión para diferentes concentraciones de biodiésel en la mezcla de combustible y se compararon contra un vehículo que utilizó únicamente diésel. La finalidad del presente estudio fue únicamente informativa y en ningún momento indica una conclusión con respecto a la idoneidad del uso de biodiésel para cualquier propósito en particular o en cualquier contexto en particular.

## Metodología

Se utilizaron dos vehículos *Nissan Frontier* 2012, con un motor YD25DDTi de cuatro tiempos, uno de ellos, para experimentar diferentes concentraciones de biodiésel en el combustible, desde un B5 (5% de biodiésel en la mezcla de combustible) hasta llegar a un B100 (biodiésel puro) y el otro, diésel puro.

Se utilizó un analizador de gases (Marca Bacharat, modelo ECA 450) (Gráfica 1). Las mediciones se realizaban cuando el motor del vehículo ya contaba con más de 5 minutos de encendido y la temperatura del mismo se encontraba en un punto normal de operación. Una vez en este punto se medían los gases de combustión con el analizador de gases sujetando con un soporte universal la sonda del analizador e introduciendo la sonda una distancia de 5 cm en el escape. Las mediciones se realizaron en triplicado.

Para el vehículo que utilizó la mezcla de biodiésel-diésel las mediciones se realizaron cada 5000 km en antes de realizar un cambio de concentración en la mezcla del combustible. Se inició de forma gradual desde B15, hasta llegar a un B100. Posteriormente al B100 se volvió a emplear una concentración B25 debido a la limitada materia prima con la que se cuenta. Se inició con un incremento de un 5 % en la mezcla de combustible, desde un B15, hasta llegar a una concentración B50, a partir de este punto se utilizó un incremento del 10% hasta llegar a un B100.

De forma similar se analizó el segundo vehículo *Nissan Frontier* 2012. Los gases de combustión fueron analizados para los kilometrajes: 5000 km, 10,000 km, 25,000 km, 30,000 km y 35,000 km.

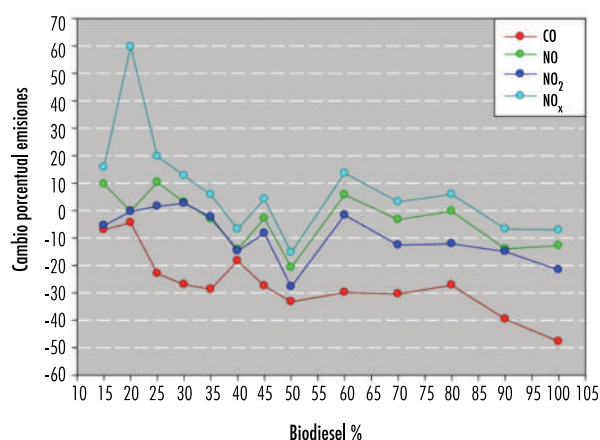
El rendimiento del vehículo se llevó de forma manual apuntando el kilometraje cada vez que se agregaba biodiésel al vehículo y realizando el cálculo para cada tanque consumido. De esta forma se pudo establecer un consumo de aproximadamente 15 galones para 582-630 km recorridos.

Para presentar la información se decidió utilizar el cambio porcentual de las concentraciones de los gases de emisión del vehículo que utilizaba biodiésel, comparado con el promedio de emisiones del vehículo que utilizaba únicamente diésel para cada gas de combustión. Un cambio porcentual negativo indicaba una reducción en las concentraciones de los gases de combustión generados en comparación al promedio de emisiones del vehículo diésel. Un porcentaje de 0 indicaba que no hubo cambio en ambos vehículos y un porcentaje positivo indicaba que se tuvo un incremento en las concentraciones de los gases de combustión para el vehículo que utilizaba biodiésel en comparación al que utilizaba únicamente diésel.

## Resultados

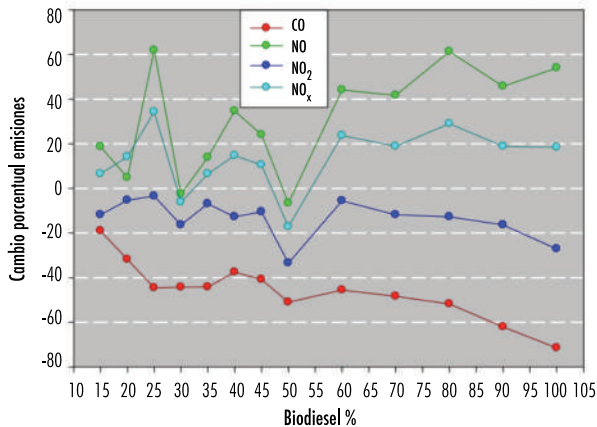
En las Gráficas 2 a la 4 se presentan los cambios porcentuales entre los vehículos de las concentraciones de CO, NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en los gases de combustión en función del porcentaje de biodiésel en la mezcla para la operación del motor a 750, 2000 y 3000 rpm, respectivamente.

Se observa en las graficas un aumento en las emisiones de NO y NO<sub>x</sub> al aumentar la proporción de biodiésel en la mezcla más acentuada a mayor revolución del motor. Por otro lado, se observa también, una disminución significativa y consistente de la concentración de CO en las emisiones en las tres velocidades ensayadas. En el Cuadro 1 se presentan los coeficientes de correlación calculados entre la concentración de CO en los gases de combustión en función de la concentración de biodiésel en la mezcla para las diferentes revoluciones por minuto.

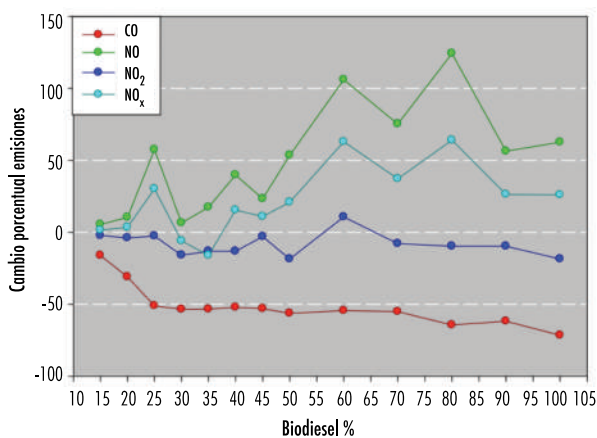


Gráfica 2. Cambio porcentual entre los vehículos de las concentraciones a 750 rpm





Gráfica 3. Cambio porcentual entre los vehículos de las concentraciones a 2000 rpm



Gráfica 4. Cambio porcentual entre los vehículos de las concentraciones a 3000 rpm

Cuadro 1. Coeficiente de correlación entre la concentración de CO y la concentración de biodiésel en la mezcla a diferentes revoluciones por minuto

| RPM  | Coeficiente de Correlación |
|------|----------------------------|
| 750  | -0.828                     |
| 2000 | -0.875                     |
| 3000 | -0.792                     |

En las Gráficas 5 y 6 se presentan las emisiones de de monóxido de carbono (CO) y de óxidos de nitrógeno (NOx) respectivamente para ambos vehículos a 2000 rpm.

## Discusión

El objetivo principal del estudio fue determinar la concentración de los gases de combustión CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y O<sub>2</sub> para diferentes concentraciones de biodiésel. Para esto se utilizaron dos vehículos Nissan Frontier 2012 con motor YD25DDTi de cuatro tiempos. El objetivo era poder comparar los gases de combustión en vehículos iguales cuya única variación serían el combustible y el conductor.

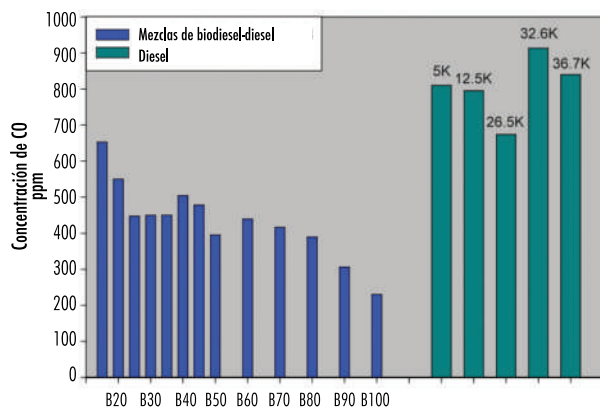
Dentro de los principales gases analizados el de mayor interés es el monóxido de carbono ya que este es nocivo para la salud y se encuentra fuertemente relacionado con el dióxido de carbono. Una disminución en el mismo implica una disminución en la cantidad de dióxido de carbono generado en la combustión.

Como se puede observar en las Gráficas 2 a la 4 mientras más se aumentó la concentración de biodiésel en la mezcla, menor fue la cantidad de monóxido de carbono producido. También se estimó una fuerte correlación negativa entre la generación de monóxido de carbono y la concentración de biodiésel en el combustible como se ilustra en el Cuadro 1. Según el manual del vehículo, la mayor eficiencia del vehículo se encuentra entre 1500 y 2500 rpm. Es por esto que se consideró como base los resultados obtenidos a 2000 rpm. En la Gráfica 3 se puede observar que se tuvo una reducción del 71.48 % con respecto al valor promedio de generación de monóxido de carbono del vehículo que utiliza únicamente diésel para las distintas mediciones. Esto implica una reducción de 806.4 ppm de CO a 230 ppm de CO.

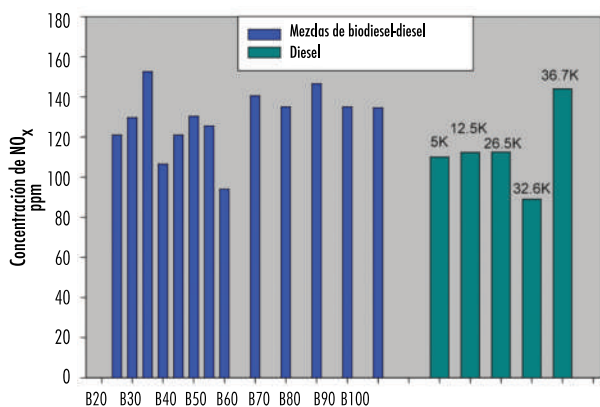
En la Gráfica 5 puede verse, por un lado, el cambio de la concentración de CO en función de la proporción de biodiésel en la mezcla, y por el otro, puede verse como se compara con las generadas para el vehículo que utilizó únicamente diésel. Como se puede observar, la menor generación de CO se tuvo cuando se utilizaba B100.

Sin embargo, a pesar de que se tuvo una reducción considerable en el CO, se puede observar en la Gráfica 6 un incremento en la generación de los óxidos de nitrógeno con un incremento de 18.44 % para el NO<sub>x</sub>. Los óxidos de nitrógeno reaccionan con el oxígeno y agua de la atmósfera para formar ácido nítrico el cual forma parte de lo que se conoce comúnmente como lluvia ácida. A pesar de que se tiene un incremento en los NO<sub>x</sub> en comparación contra el promedio de ppm de NO<sub>x</sub> generadas por el vehículo diésel, al comparar la generación de NO<sub>x</sub> del vehículo que utiliza B100 como combustible con el vehículo que utiliza diésel puro, se puede observar que se tiene una disminución de 9.5 ppm. Esto se debe a que a pesar de que se tiene un incremento en los NO, se tuvo un decremento en los NO<sub>2</sub>. Lo cual nos indica que a pesar de que la combustión del biodiésel puro tiende a incrementar la producción de los NO<sub>x</sub> está no es significativa comparada con la generación de óxidos de nitrógeno para vehículos diésel.

El mayor incremento de NO<sub>x</sub> para el vehículo que utilizaba biodiésel se pudo ver para mezclas de biodiésel-diésel entre el 20 % y el 30 %, 60 % y 80 %, según la información obtenida.



**Gráfico 5.** Comparación de las emisiones de monóxido de carbono (CO) para ambos vehículos a 2000 rpm. En color azul el vehículo que utilizaba biodiésel en la mezcla de combustible y en color verde el vehículo que utilizaba únicamente diésel



**Gráfico 6.** Comparación de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) para ambos vehículos a 2000 rpm. En color azul el vehículo que utilizaba biodiésel en la mezcla de combustible y en color verde el vehículo que utilizaba únicamente diésel

A la vez se puede observar una correlación negativa, con un valor de  $-0.79$ , entre el rendimiento y la concentración de biodiésel en la mezcla. Esto se debe a que el biodiésel tiene menor poder calorífico que el diésel, es decir, tiene menos energía. Como resultado necesitamos más biodiésel para poder avanzar la misma cantidad de kilómetros. Al utilizar B100 se pudo observar una disminución en el rendimiento de 5.2 Km/gal, lo cual no representa un valor alarmante.

## Bibliografía de consulta

- EPA (2002) *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions* Draft Technical Report, EPA document number EPA420-P-02-001, Environmental Protection Agency, USA
- Graboski MS, Ross JD, McCormick RL (2003) *Transient Emissions from No. 2 Diesel and Biodiesel Blends in a DDC Series 60 Engine* SAE paper no. 961166
- Hansen AC (2008) *Combustion and Emissions Characteristics of Biodiesel Fuel*, CABER Seminar, Illinois University [http://bioenergy.illinois.edu/education/08seminars/080505\\_hansen.pdf](http://bioenergy.illinois.edu/education/08seminars/080505_hansen.pdf)
- Knothe G, Van Gerpen J, Kral J (2005) *"The Biodiesel Handbook"* AOCS Press 1: 1-303
- Clark NN, Atkinson CM, Thompson GJ, Nine RD (2005) *Transient Emissions Comparisons of Alternative Compression Ignition Fuels* SAE paper no. 1999-01-1117
- Nissan (2013) *Manual del motor YD25DDTi*
- OMM (2013) *La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanza un nuevo récord* Comunicado de Prensa, Organización Meteorológica Mundial, No. 980, Noviembre
- Zambrano G; Maldonado O (2010) *Evaluación de la contaminación del aire por combustión de Biodiesel* Fundación MAPFRE

## Bibliografía

- Nordin N. (2013) *Introduction to Combustion in Diesel Engines* Advance Combustion, Scania <http://files.nequam.se/greenCarLecture.pdf>

# Estudio sobre el balance en el uso de la tierra para alimentos y el uso de la tierra para biocombustibles

Gamaliel Zambrano Ruano, Cristián Rossi Sosa & José Andrés Hernández Gaitán

Centro de Procesos Industriales, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** El objetivo principal de este estudio fue determinar las áreas de cultivos para la producción de biocombustibles en Guatemala y establecer que las mismas no interfirieran con la seguridad alimentaria, ya que las áreas destinadas para la siembra de cultivos alimenticios son diferentes y con otras características a las requeridas por los cultivos para biocombustibles. En Guatemala se cultivan 296,035 ha con caña de azúcar, pero los biocombustibles se producen a partir de la melaza (subproducto) y del bagazo. En el caso de la palma africana, se cultivan 93,496 ha y los biocombustibles se obtienen de los aceites no alimenticios y la biomasa que se genera del proceso de extracción. En el caso del hule, se cultivan 61,024 ha y los biocombustibles se originan de la semilla no comestible y de la biomasa de la misma. Para el sorgo dulce, Guatemala cuenta con 1,627,146 ha catalogadas como pastos silvestres y matorrales, y que pueden ser utilizadas para la producción de biocombustibles obtenidos de este sorgo.

**PALABRAS CLAVE:** biocombustibles, biodiésel, bioetanol, biomasa.

## Land use for food and biofuels production in a balanced way

**ABSTRACT:** The main objective of this study was to determine the biofuel production crop areas in Guatemala and to establish that they do not interfere with food security, since the areas designated for planting food crops are different than those required by crops for biofuel production. In Guatemala 296,035 ha are used for sugar cane production, but biofuels are produced from molasses (by-product) and bagasse. In the case of african palm production, 93,496 ha are used, but biofuels are derived from non-food oils and biomass generated from the extraction process. In the case of rubber, there is a production area of 61,024 ha and biofuels originate from inedible seeds and its biomass. Guatemala has 1,627,146 ha currently with wild grasses and bushes, and could be used for the production of biofuels obtained from sweet sorghum.

**KEY WORDS:** biofuels, biodiesel, bioethanol, biomass.

## Introducción

Guatemala cuenta con un área de 108,889 km<sup>2</sup>, en la que hay una distribución diversa de cultivos con varios propósitos, bosques, reservas, zonas urbanas, entre otros. La información disponible por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) en diferentes mapas publicados en los estudios oficiales con respecto a la caracterización del territorio guatemalteco no está actualizada. Los últimos estudios publicados son del año 2006. Esta información incluye datos geográficos, topografía, zonas climáticas, cuencas hidrográficas, taxonomía de los suelos, capacidad e intensidad del uso de los suelos, cobertura vegetal, detalle de cultivos, entre otros. La información disponible sobre los cultivos para la producción de alimentos para consumo nacional y para la exportación se puede consultar en estos estudios, al igual que las áreas destinadas para los cultivos tradicionales. (MAGA, 2005) (MAGA, 2006)

En el caso de las áreas para los cultivos productores de biocombustibles (que incluyen bioetanol, biomasa y biodiésel) se pueden obtener datos de estudios como el realizado por la Fundación Getúlio Vargas (Fundación Getúlio Vargas, 2010) y corroborar los datos con los que manejan las gremiales y asociaciones como ANACAFE (Asociación Nacional del Café), CENGICANA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar), GREMHULE (Asociación de Productores de Hule Natural en Guatemala), CARDEGUA (Asociación de Cardamomeros de Guatemala), entre otros.

No se cuenta con un mapa oficial que contabilice e integre las áreas destinadas a los cultivos productores de biocombustibles (caña de azúcar, palma africana, hule y sorgo dulce) y es por eso que surge la necesidad para la realización del mismo. Por otra parte, es necesario revisar que las áreas para estos cultivos no interfieran con las áreas destinadas a cultivos para la obtención de alimentos ya que la seguridad alimentaria es prioritaria, y de igual forma, es necesario revisar

que no se ponga en peligro las áreas ocupadas por bosques y reservas. Estas áreas están definidas en los estudios realizados por el MAGA y corroborados por la Fundación Defensores de la Naturaleza (Fundación Defensores de la Naturaleza, 2008)

## Metodología

Para la realización del estudio se hizo una investigación documental y bibliográfica con el objeto de recolectar la información disponible sobre los aspectos de caracterización, uso y disponibilidad de las tierras del territorio guatemalteco. Las fuentes de información consultadas fueron, en la mayoría, de carácter oficial, provenientes de las publicaciones del MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación), ANACAFE (Asociación Nacional del Café), CENGICANA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar), GREMHULE (Asociación de Productores de Hule Natural en Guatemala), CARDEGUA (Asociación de Cardamomeros de Guatemala), entre otros. Se consultaron los mapas disponibles relacionados con taxonomía, capacidad e intensidad de uso de la tierra, cobertura vegetal, clima, cuencas hidrográficas, áreas protegidas, bosques, áreas de cultivos específicos, entre otros.

Los mapas seleccionados con la información pertinente para el estudio fueron procesados utilizando *Adobe Photoshop CS6* para mejorar la resolución y corrección de los detalles por la baja resolución de los archivos disponibles. También se corrigieron las leyendas y cuadros, utilizando el programa *Adobe Illustrator CS6*, para reconstruir y mejorar la resolución de los mismos ya que en muchos de los casos las leyendas no eran legibles.

Con respecto a los mapas con la información sobre las áreas cultivadas, con la ayuda del programa *ArcGis Desktop ARCVIEW 3.2* para la visualización, análisis y manejo de todos los datos tipo GIS, se construyeron las capas requeridas con la información correspondiente a áreas con cultivos tradicionales y de exportación (caña de azúcar, café, banano, y cardamomo), cultivos para alimentos (granos básicos, hortalizas y frutas), áreas de pastizales no cultivados, bosques (de latifoliadas, de coníferas, mixtos, entre otros) y por último, cultivos para la producción de biocombustibles (caña de azúcar, hule, palma africana y área de pastos silvestres para aprovechamiento en cultivo de sorgo dulce). La información se trasladó a capas independientes a partir de los mapas obtenidos y luego se hizo la consolidación de las capas para la integración de los datos finales. Todas las áreas determinadas y señaladas en las capas son excluyentes por lo que no hay sobre posición. Con los mapas terminados, se hizo la cuantificación de las áreas y se integró la información en los mismos.

Con respecto al mapa consolidado de las áreas ocupadas por los cultivos para alimentos (granos básicos, hortalizas y frutas), productos tradicionales (cultivo de caña de azúcar, café, entre otros), pastos silvestres y bosques, se utilizaron las capas obtenidas con datos GIS para cada uno de los cultivos y se consolidaron en las cuatro categorías que se reportan en el mapa. Se utilizaron colores contrastantes para cada categoría y que fuese fácil poder distinguirlas. Estas áreas son excluyentes entre sí.

En el caso del mapa final con las áreas para los cultivos productores de biocombustibles, se utilizaron las áreas actuales de cultivo de caña de azúcar, hule y palma africana para hacer las capas con información GIS. En el caso del área para el cultivo del sorgo dulce, se utilizó el área que actualmente está ocupada por pastos silvestres y que podría ser aprovechada para el mismo. Estas áreas también son excluyentes entre sí, por las características propias de cada uno de los cultivos.

## Resultados y discusión

A continuación se presentan en cuatro gráficas los mapas pertinentes para el estudio, incluyendo el resumen de las áreas disponibles para cada uno de los cultivos estudiados.

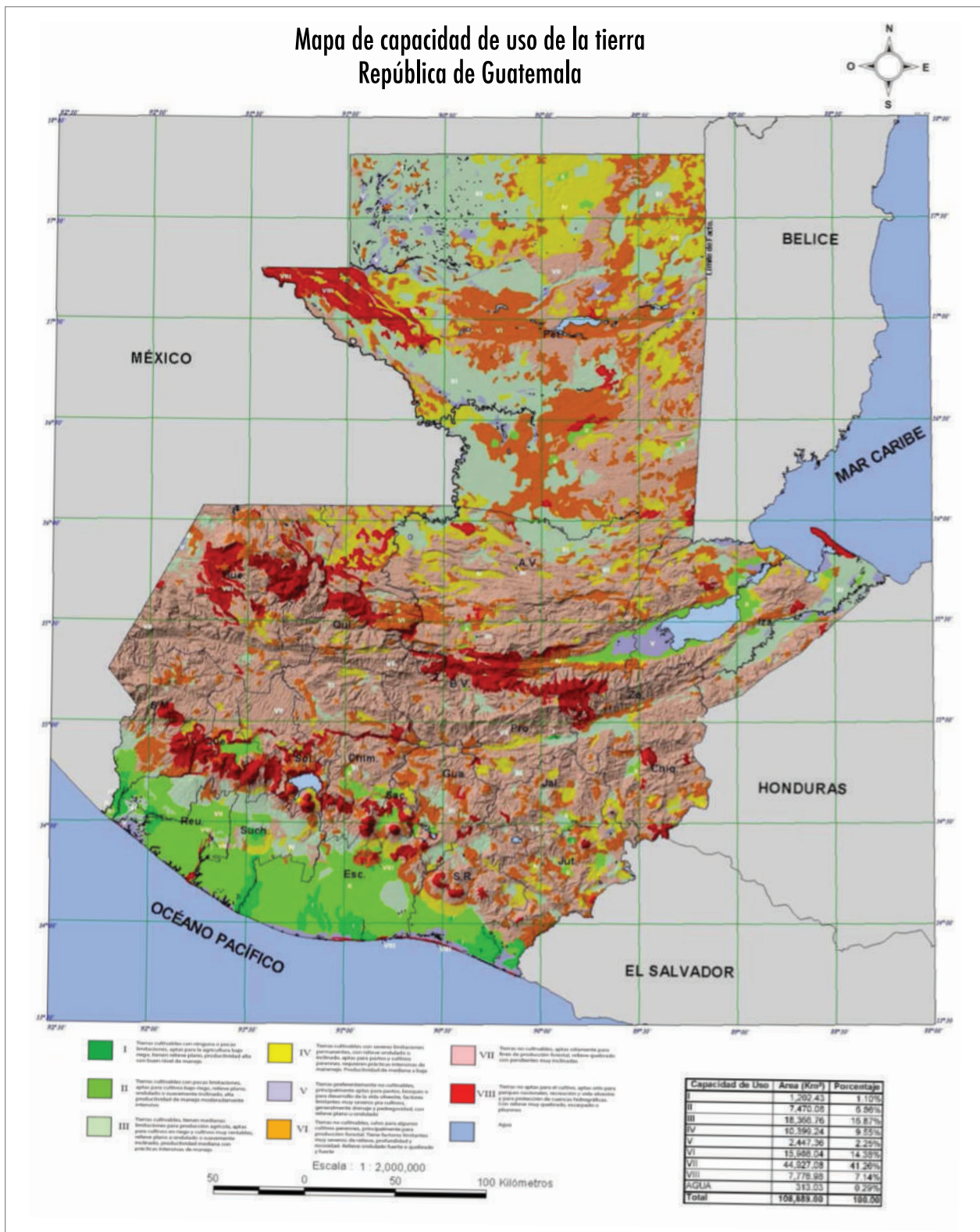
De acuerdo a los mapas obtenidos para la comparación de las áreas para la producción de cultivos alimenticios, bosques, productos tradicionales y de exportación y pastos silvestres, se puede observar que Guatemala posee un gran potencial para la producción de biocombustibles sin poner en peligro la seguridad alimentaria. En el caso de la caña de azúcar y la palma africana, los biocombustibles se producen a partir de los residuos de los procesos de extracción y en la mayoría de los casos, como el bagazo de la caña, se utiliza para la generación de energía para el proceso mismo o para la red eléctrica nacional.

En el caso del sorgo dulce, este es un cultivo que se adapta a diversos ecosistemas y que fácilmente podría plantarse en las áreas en las que actualmente crecen los pastos silvestres y los matorrales en el país. Del sorgo dulce podría aprovecharse el tallo para la obtención de bioetanol, y la semilla para la producción de harina y aceite, este último para la producción de biodiesel.

El total de hectáreas para la producción de cultivos para la obtención de biocombustibles es de 2,077,701 (20,777.01 km<sup>2</sup>), de acuerdo al resumen de la Gráfica 4, tomando en cuenta el área que podría cultivarse para sorgo dulce pero que actualmente está ocupada por pastos silvestres y matorrales.



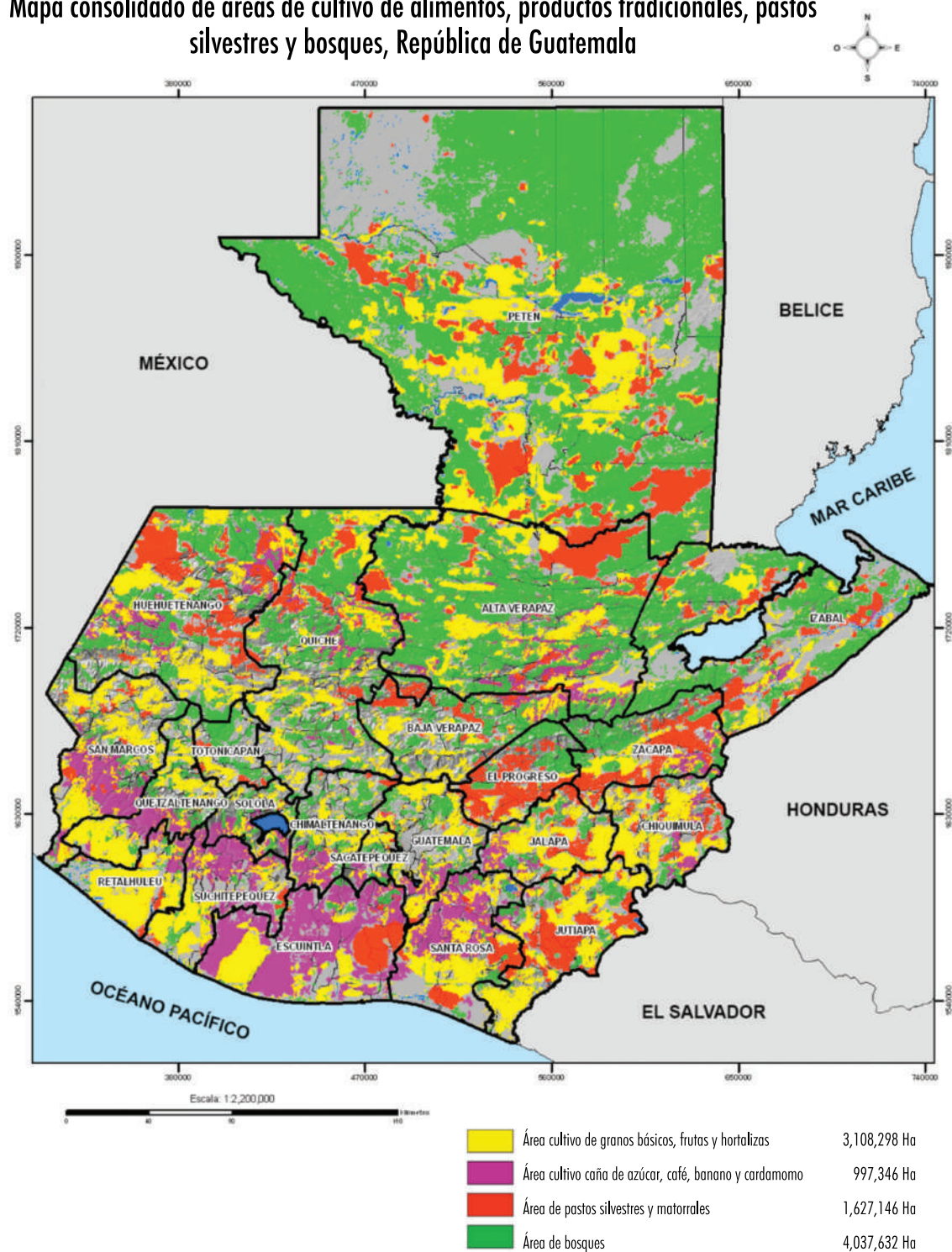




Gráfica 2. Mapa con la capacidad de uso de la tierra para la República de Guatemala en base a los datos del MAGA

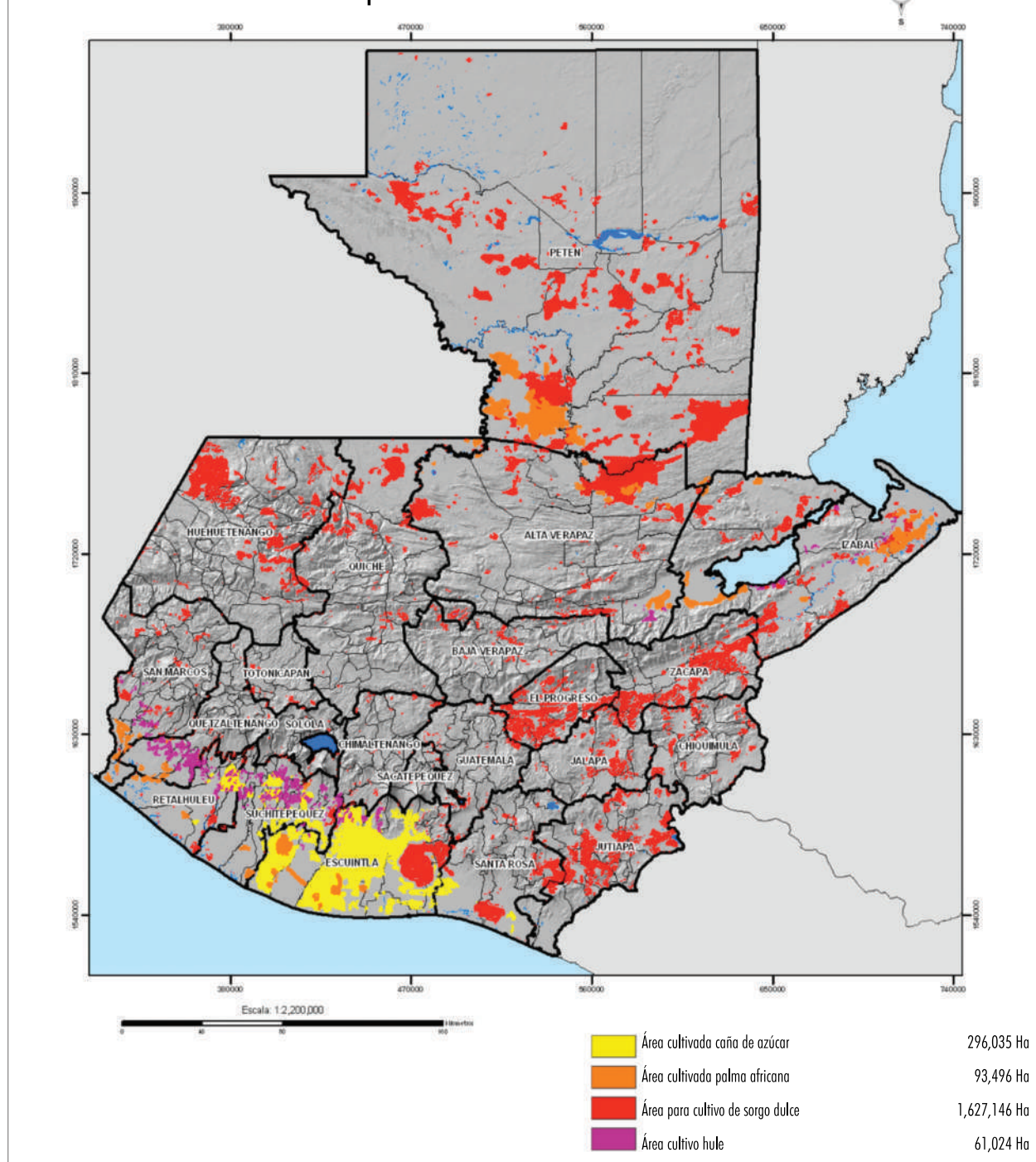


## Mapa consolidado de áreas de cultivo de alimentos, productos tradicionales, pastos silvestres y bosques, República de Guatemala



Gráfica 3. Mapa consolidado con las áreas de cultivo de alimentos (granos básicos, frutas y hortalizas), áreas de productos tradicionales y de exportación (cultivo de caña de azúcar, café, banana y cardamomo), áreas de pastos silvestres y matorrales, y áreas de bosques.

## Mapa consolidado de cultivos para la obtención de biocombustibles República de Guatemala



**Gráfica 4.** Mapa consolidado de las áreas usadas cultivos para la producción de biocombustibles: caña de azúcar (biomasa y bioetanol a partir de melaza), palma africana (biodiésel y biomasa) y hule (biodiésel), y área posible para el cultivo de sorgo dulce (bioetanol y biodiésel).



## Conclusiones

De acuerdo a los mapas generados para la cuantificación y visualización de las áreas para los cultivos productores de biocombustibles, el área es de 2,077,701 ha, tomando en cuenta las áreas actualmente ocupadas por pastos silvestres y matorrales (78.31% del área contabilizada para los cultivos productores de biocombustibles). No existe interferencia entre las áreas para estos fines y las áreas destinadas para los cultivos productores de alimentos y las ocupadas por bosques.

## Bibliografía

- Fundación Getúlio Vargas (2010) *Estudios de viabilidad de producción de biocombustibles en Guatemala* Rio de Janeiro
- MAGA (2005) *Atlas temático* Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala
- MAGA (2006) *Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala Año 2003* Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala
- Fundación Defensores de la Naturaleza (2008) *Alianza para la conservación de bosques de pino-encino de Mesoamérica* Guatemala.

# Evaluación de cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo condiciones de invernadero en los departamentos de Sololá y Suchitepéquez

Vilma Porres, Edwin de León & Rolando Cifuentes

Centro de Estudios Agrícolas y Forestales, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** Se evaluaron los híbridos de tomate indeterminado Escudero, Nemo netta, Tabaré, y Dartagnian en cuatro invernaderos a distintas altitudes. Tres de los invernaderos se ubicaron en Sololá y uno en Suchitepéquez. Se determinó que todos los cultivares se adaptaron a las condiciones de los dos departamentos, sin embargo se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de acuerdo al sitio. Ojo de Agua, en Sololá fue el sitio en el cual los rendimientos fueron más altos (243.3 ton/ha), sin embargo en Suchitepéquez en donde los rendimientos fueron los más bajos, existe la posibilidad de realizar dos ciclos por año debido a que el ciclo de cultivo es mas rápido. Escudero obtuvo el mejor rendimiento en los cuatro sitios con diferencia significativa, seguida por Nemo netta, Dartagnian y Tabaré. Escudero mostro además un alto número de racimos por planta, un alto peso del fruto, y una alta proporción de frutos de primera calidad. Se espera que los resultados obtenidos sean de mucha utilidad a los productores que han iniciado la producción de tomate bajo invernadero en la boca costa y altiplano del país.

**PALABRAS CLAVE:** invernadero, agricultura protegida, tomate, *Solanum lycopersicum*.

more fruit clusters per plant, the fruits were heavier than the other cultivars and a high proportion of first class fruits. It is expected that the results obtained are useful to producers who grow under greenhouse conditions in the coast and highlands in the country.

**KEY WORDS:** greenhouse, protected agriculture, tomato, *Solanum lycopersicum*.

## Introducción

La producción de tomate en Guatemala se encuentra principalmente en los departamentos de Jutiapa, Baja Verapaz, Chiquimula, Guatemala, Alta Verapaz, El Progreso y Jalapa (MAGA 2003). En cuanto a la ubicación de los productores bajo invernadero para exportación, Mendoza (2012) indica que la mayoría se localiza en los departamentos de Santa Rosa, Jalapa, Baja Verapaz, Chiquimula, Guatemala, Chimaltenango y Sacatepéquez.

En el año 2010 se estimaba que existían unas 10,290 ha dedicadas al cultivo de tomate a campo abierto en Guatemala y unas 60 ha bajo invernadero. El rendimiento a campo abierto a nivel nacional fue de aproximadamente 37 t/ha (MAGA 2011) y bajo invernadero de 70 a 180 t/ha (Pérez 2010, Jerónimo 2009, Cifuentes et al. 2013) variando según el sitio, el híbrido utilizado, la densidad de población y el manejo agronómico.

En la costa sur la técnica de cultivo bajo invernadero es prácticamente desconocida para los agricultores, mientras que en el altiplano es cada vez más frecuente observar estructuras artesanales destinadas a la producción de tomates, pimientos y pilones de hortalizas. Esto debido principalmente a la necesidad de los agricultores de proteger sus cultivos de un clima adverso, de plagas, enfermedades y virus.

Debido a la importancia que está cobrando la producción de tomate bajo invernadero se considera importante determinar los híbridos de tomate más aptos para las condiciones climáticas características de Sololá y la boca costa de Suchitepéquez.

## Evaluation of tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivars under greenhouse conditions in Sololá and Suchitepéquez

**ABSTRACT:** The tomato cultivars Escudero, Nemo netta, Tabaré and Dartagnian were evaluated under greenhouse conditions at four different altitudes. Three of the greenhouses were located in Sololá and one in Suchitepéquez. It was determined that all four cultivars were suitable for greenhouse conditions in the two departments; however, statistical differences in productivity were found among sites. Ojo de Agua in Sololá had the highest yield (243 ton/ha), in contrast in Suchitepéquez the yield was the lowest, but there is a possibility of growing two crops in one year due to the fast growth. Escudero had the higher yield in all four sites with statistical significance. The next best yield was obtained with Nemo netta, Dartagnian and Tabaré. Escudero produced

## Materiales y métodos

Se contó con 4 sitios experimentales. Un sitio en el departamento de Suchitepéquez (comunidad Chicolá, municipio de San Pablo Jocopilas,) y tres sitios en el departamento de Sololá (caserio Ojo de Agua en la aldea Agua Escondida, del municipio de San Antonio Palopó, y Ciénaga grande I y II en el municipio de Santa Lucía Utatlán) en un rango altitudinal entre 600 a 2,450 msnm.

En cada sitio experimental se estableció el cultivo en un invernadero de 308 m<sup>2</sup>. En Sololá se evaluaron 4 híbridos de tomate de crecimiento indeterminado Nemo Netta (Nirit), Dartagnian, Escudero (Clause) y Tabaré (Rijk Zwaan) y en Suchitepéquez tres, Nemo Netta, Escudero y Tabaré. Los híbridos Dartagnian, Escudero y Tabaré poseen frutos alargados tipo pera y la variedad Nemo Netta, frutos redondos del tipo manzano.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con 4 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo formada por una hilera de 9 m de largo y 1.5 m de ancho equivalente a 13.5 metros cuadrados (Figura 1).

El suelo se preparó con un picado a 20 cm de profundidad. Se prepararon camas de cultivo agregando lombricompost a base de pulpa de café obtenido en la Empresa Campesina Asociativa (ECA) de la comunidad de Chicolá en San Pablo Jocopilas, Suchitepéquez razón de 2.5 lb de por metro cuadrado y se cubrieron con plástico mulch negro-plateado. El suelo fue desinfectado por medio del sistema de riego por goteo utilizando el desinfectante Metam sodio conocido con el nombre comercial de Mercenario a una dosis de 1000 l/ha.

El trasplante se realizó a partir de pilones que fueron tratados preventivamente al momento de la siembra, sumergiendo el cepellón en una solución de los fungicidas etridiazol y metil tiofanato, producto conocido comercialmente como Banrot, a razón de 25 cm<sup>3</sup> por 16 litros de agua.

La fertilización se hizo por medio de un programa de fertirriego fraccionado en 30 semanas, aportando la cantidad total de 431-248-618-163-125-102 kg/ha de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-CaO-MgO-S respectivamente. Las fuentes de los nutrientes fueron nitrato de potasio, nitrato de calcio, nitrato de amonio, y sulfato de magnesio. El fósforo se aportó al suelo utilizando la fórmula 11-52-0 (fosfato di amónico) a los 8 días después del trasplante. Los micronutrientes se aportaron por medio de la fertilización foliar utilizando un fertilizante multimineral quelatado (Bayfolan) cada 21 días a partir de la floración.

La humedad del suelo se monitoreó utilizando un tensiómetro. Los riegos se realizaron cada vez que el tensiómetro alcanzó el valor de 30 centibares aproximadamente. La planta se manejo con un solo tallo principal o un eje utilizando el sistema de tutorado aéreo, se realizaron deshijes y deshojes cada semana. Para el control de plagas y enfermedades se realizaron monitoreos y cuando fue necesario se hicieron fumigaciones con productos químicos y biológicos.

Las variables de respuesta fueron rendimiento (ton/ha), días a floración, días a inicio de cosecha, altura de planta, numero de racimos y calidad en función del tamaño y peso. De acuerdo al peso y a la ausencia de daños físicos se clasificó el tomate como primera, segunda y tercera calidad. Siendo primera calidad el tomate mas pesado, segunda calidad el tomate de peso medio y tercera calidad el tomate más liviano. La forma del fruto se determinó utilizando el índice de forma el cual se expresa como la proporción de la altura máxima respecto a la anchura máxima del fruto (Alto/Ancho) (Brewer et al. 2006) en donde el valores mayores a 1 representan frutos alargados, valores cercanos a 1 frutos redondos y valores menores a 1, frutos aplanados. Se midió la temperatura y la humedad relativa en el ambiente utilizando un termómetro/higrómetro electrónico que registró los datos con frecuencia de 1 hora dentro del invernadero.

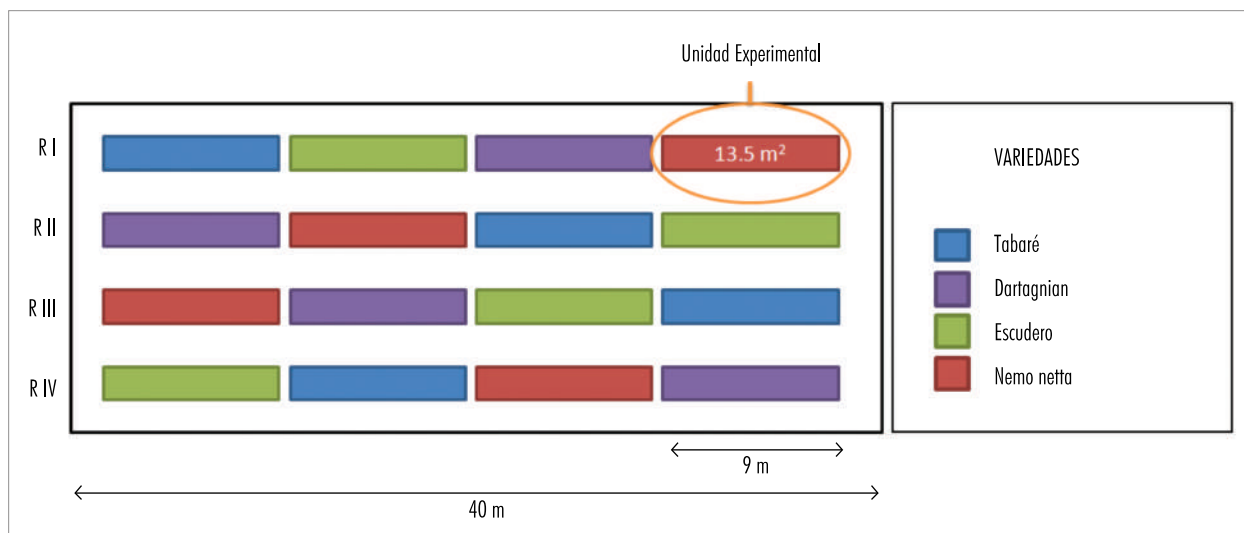


Figura 1. Diseño experimental dentro del invernadero.

## Resultados

### Rendimiento

Se encontraron diferencias significativas en el efecto del sitio sobre el rendimiento ( $p < 0.05$ ) (Figura 2). En Sololá el rendimiento promedio fue de 211.1 ton/ha. En los sitios Ojo de Agua en San Antonio Palopó y Ciénaga I y Ciénaga II en Santa Lucía Utatlán, los rendimientos promedio fueron de 243.3, 170.1 y 219.9 ton/ha respectivamente. En Chocó en San Antonio, Suchitepéquez el rendimiento promedio fue de 112.2 t/ha.

En cuanto a los híbridos el análisis combinado muestra diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el rendimiento de las mismas. En Sololá las variedades Escudero, Nemo Netta, Dartagnian y Tabaré tuvieron un rendimiento promedio de 223.9, 216.9, 207.9 y 195.7 ton/ha respectivamente. En Suchitepéquez el rendimiento promedio de las variedades Escudero, Tabaré y Nemo Netta fue de 118.1, 110.6, y 108.1 t/ha.

La interacción entre la variedad de tomate y el sitio no fue significativa ( $p < 0.05$ ).

### Días a floración y a inicio de cosecha

En Sololá en los sitios de Ciénaga I, Ciénaga II, y Ojo de Agua las plantas iniciaron la floración en un promedio de 26, 26, 21 días después del trasplante respectivamente. En Chocó en Suchitepéquez la floración inicio a los 16 días después del trasplante. El inicio de cosecha ocurrió a los 101, 101, 84 en los tres sitios de Sololá, mientras que en Chocó, Suchitepéquez la cosecha inicio a los 67 días después del trasplante (Figura 3).

### Altura de la planta

La altura promedio de las plantas al finalizar el ciclo de producción (Figura 4) fue de 5.2 m en Sololá y 6.5 m en Chocó, Suchitepéquez. En los tres sitios de Sololá, Ciénaga I y Ciénaga II, en Santa Lucía Utatlán y en Ojo de Agua en San Antonio Palopó, las plantas alcanzaron una altura de 5.2, 4.9 y 5.4 metros respectivamente. La altura promedio de los híbridos fue de 5.7, 5.4, 5.4 y 5.17 para los híbridos Tabaré, Escudero, Dartagnian y Nemo Netta.

### Numero de racimos

Se determinó el número de racimos producidos por cada planta hasta el final del ciclo de cultivo. En Sololá se obtuvieron 14, 16, 18 racimos por planta en promedio, mientras que en Chocó fueron 14 racimos por planta para los cuatro híbridos evaluados (Figura 5).

### Calidad en función del peso

Los frutos se clasificaron por su calidad comercial como primera, segunda y tercera. Se observa que los frutos de primera calidad

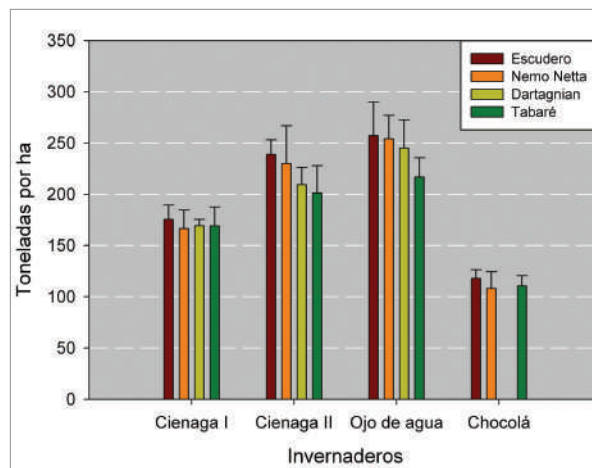


Figura 2. Rendimiento de las variedades en Sololá y Suchitepéquez.

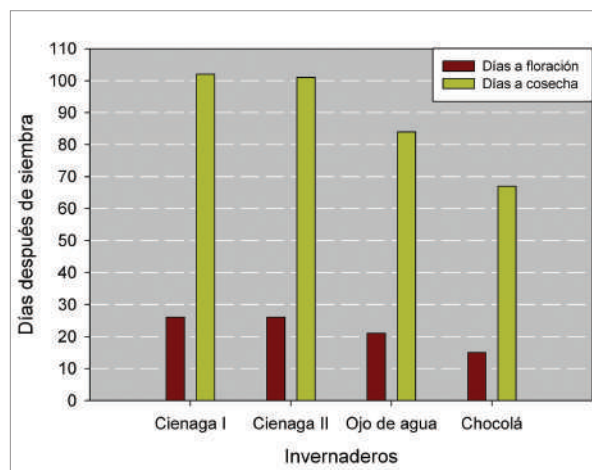


Figura 3. Días a floración y días a inicio de cosecha Sololá y Suchitepéquez.

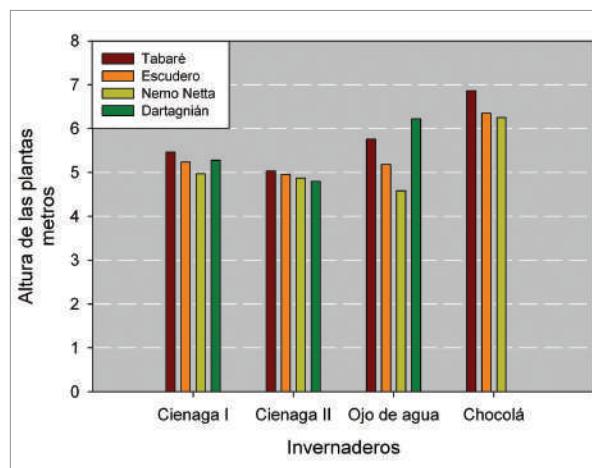


Figura 4. Altura promedio de las plantas al finalizar el ciclo de producción.



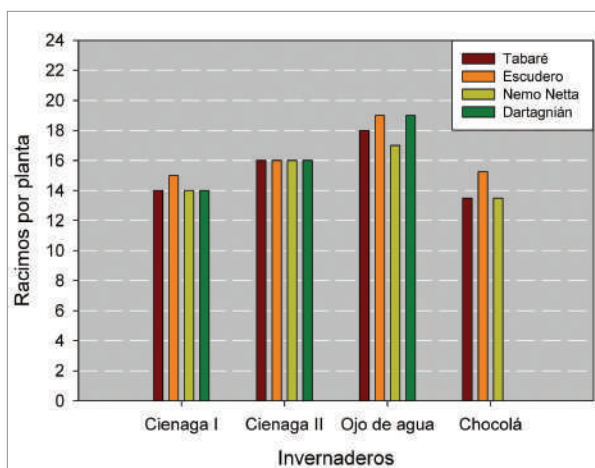


Figura 5. Número de racimos por planta.

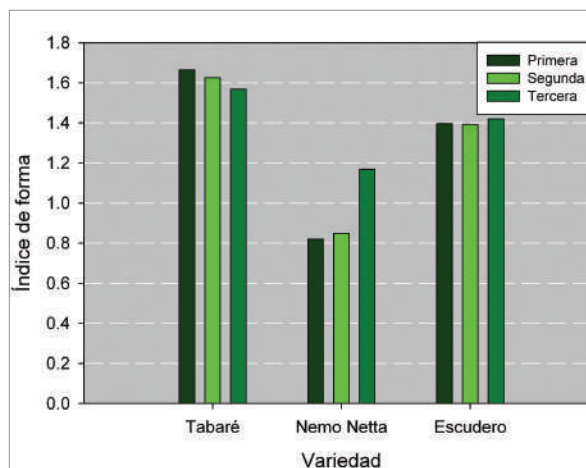


Figura 8. Índice de forma de los frutos de acuerdo a la clasificación de calidad por tamaño.

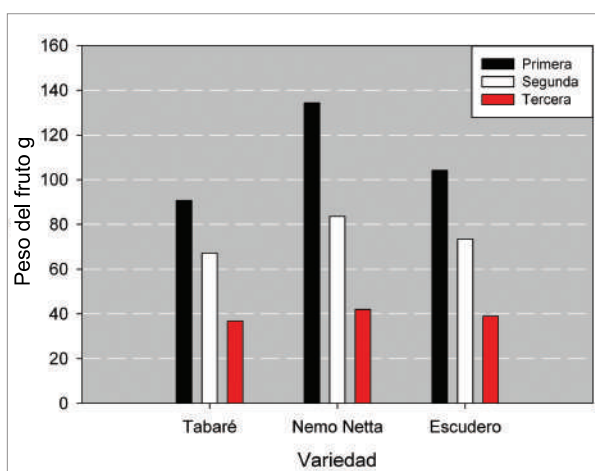


Figura 6. Peso individual de los frutos de acuerdo a la clasificación de calidad por peso.

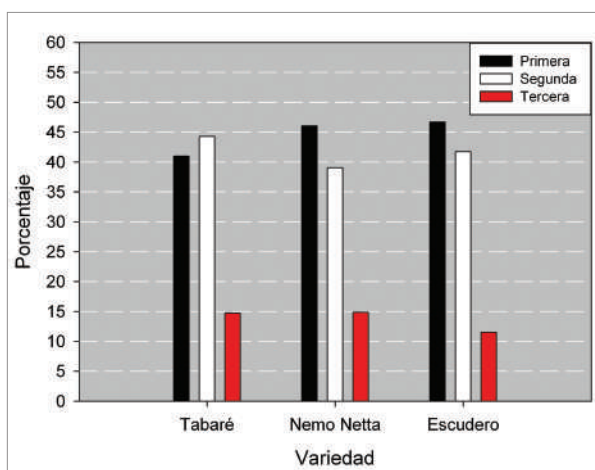


Figura 7. Clasificación de los frutos por primera, segunda y tercera calidad según tamaño.

tienen un peso promedio de 90.8, 143.3 y 104.1 gramos para los híbridos Tabaré, Nemo Netta, y Escudero respectivamente. Los frutos de segunda calidad tienen un peso promedio de 67.2, 83.6, y 73.4 gramos para los híbridos Tabaré, Nemo Netta, y Escudero respectivamente. Los frutos de tercera calidad tienen un peso promedio de 36.9, 42 y 39 gramos para las variedades Tabaré, Nemo Netta y Escudero respectivamente (Figura 6).

De primera calidad se cosechó un 41, 46 y 47 % de los híbridos Tabaré, Nemo Netta, y Escudero respectivamente. De segunda calidad se cosechó un 44, 39 y 42% de las variedades Tabaré, Nemo Netta y Escudero respectivamente. De tercera calidad se cosechó un 15, 15 y 12% de los híbridos Tabaré, Nemo Netta y Escudero respectivamente (Figura 7).

En cuanto a la forma del fruto se observó que Tabaré, Nemo Netta y Escudero tienen un índice de forma de fruto promedio de 1.62, 0.95 y 1.4 respectivamente (Figura 8 y Figura 9).

## Temperatura

La temperatura promedio alcanzada en los invernaderos de San Antonio Palopó, Ciénaga I, Ciénaga II y en Chocó fue de 21.0, 18.5, 18.7 y 23.9 °C respectivamente (Figura 10).

## Humedad relativa

La humedad relativa promedio en los invernaderos ubicados en San Antonio Palopó, Ciénaga I, Ciénaga II y en Chocó fue de 70, 74.7, 73.7 y 81.5 % respectivamente (Figura 11).



Figura 9. Forma de los frutos

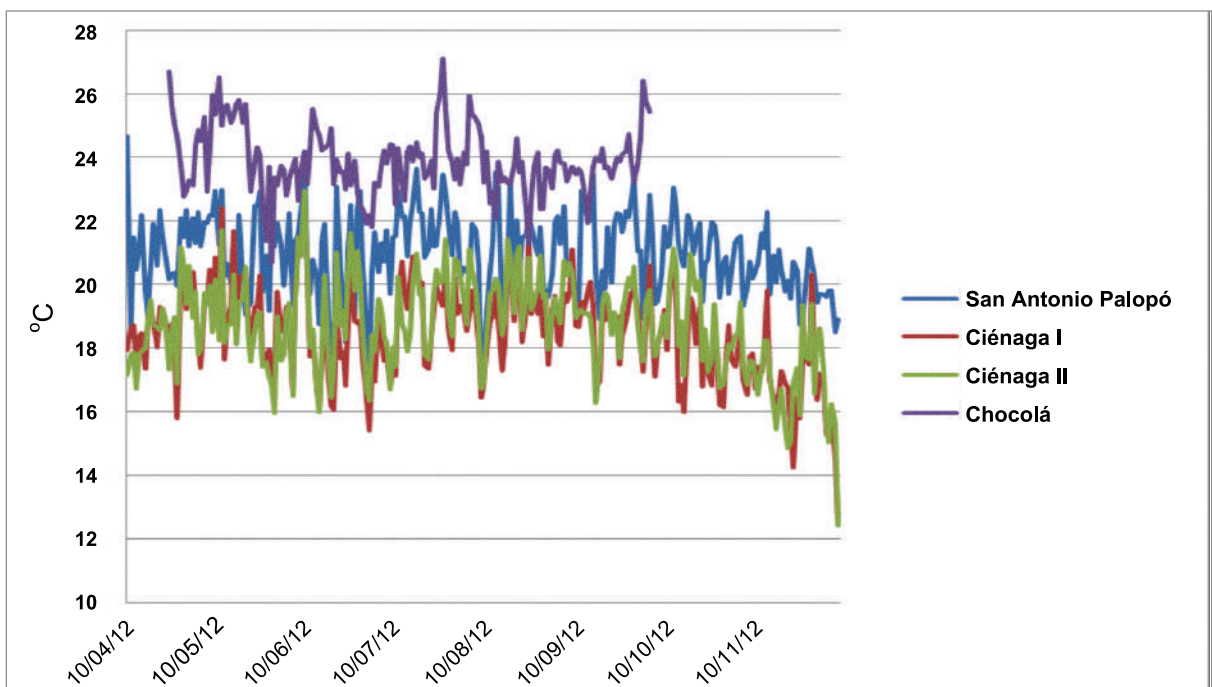


Figura 10. Temperatura promedio en los invernaderos de Sololá y Suchitepequez.

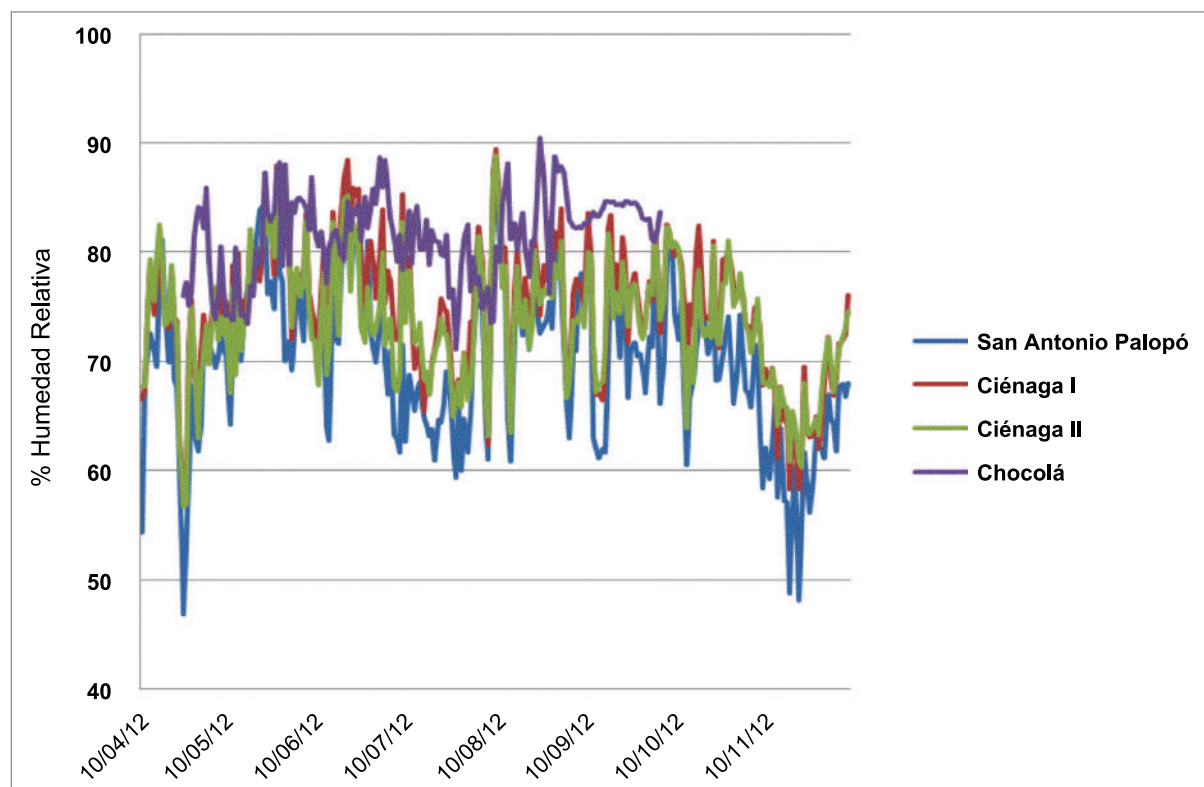


Figura 11. Humedad relativa promedio en los invernaderos de Sololá y Suchitepéquez.

## Discusión

Los resultados muestran diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el rendimiento de los híbridos de tomate respecto al sitio. En general el rendimiento fue casi el doble en Sololá, que en Suchitepéquez. En los sitios de Ojo de Agua y Ciénaga II en Sololá se superaron los rendimientos reportados por la literatura mientras que en Ciénaga I y Chocó se encuentran los rendimientos dentro del promedio reportado para cultivo de tomate en invernadero.

El rendimiento del tomate depende de la interacción de varios aspectos como la morfología de la planta, la fisiología y las condiciones de crecimiento (Van der Ploeg y Heuvelink 2005). Entre las condiciones de crecimiento que pudieron causar la diferencia en el rendimiento en los distintos sitios evaluados están principalmente las condiciones de suelo y clima. Se cree que efecto de la temperatura y humedad relativa entre sitios (Figura 10 y 11) podría tener el mayor efecto sobre los híbridos evaluados. Tal como exponen (Van der Ploeg y Heuvelink 2005) la temperatura tiene un gran efecto en todos los aspectos del desarrollo de la planta incluyendo el crecimiento vegetal, floración y cuaje de frutos, crecimiento del fruto y rendimiento. Adicionalmente se cree que existen otros aspectos importantes como el manejo agronómico de cada agricultor y el estado fitosanitario, pudiendo llegar a ser este último, un aspecto

limitante para la producción de tomate por pequeños agricultores en regiones tropicales (Huat et al. 2013).

El híbrido que consistentemente mostró el mayor rendimiento en los cuatro sitios evaluados fue la Escudero, seguido por la Nemo Netta y Tabaré. La Variedad Dartagnian únicamente fue evaluada en los 3 sitios de Sololá en donde los rendimientos suelen ser más altos. Sin embargo al compararla, con el rendimiento de los otros híbridos en los mismo sitios de Sololá, se encuentra en el tercer lugar de rendimiento detrás de Escudero y Nemo Netta.

En Sololá el ciclo de cultivo fue más largo, mientras que en la Suchitepéquez fue corto, posiblemente permitiendo realizar dos ciclos de cultivo al año. Como era de esperarse, la floración y la madurez fisiológica fueron más precoces en la costa que en los sitios del altiplano. El ciclo tuvo una duración de 236 días en Ciénaga I y Ciénaga II, 226 días en Ojo de Agua y 193 días en Chocó (Figura 4).

En la costa las plantas de crecimiento indeterminado alcanzaron una mayor altura que en altiplano, La variedad con mayor altura fue la Tabaré, seguida en segundo lugar por Escudero y Dartagnian y en tercer lugar Nemo Netta.

Al observar el número de racimos por planta notamos que Escudero y Dartagnian tuvieron el mayor número, seguidos por



Tabaré, Nemo Netta. Al relacionar la altura de planta con el número de racimos se observó que hay algunas plantas que presentan una mayor distancia entre racimos. El híbrido con la mayor distancia fue la Tabaré. Escudero y Dartagnian presentaron una distancia entre racimos intermedia y por último Nemo Netta con la menor distancia entre racimos.

En cuanto a la calidad de los frutos, esta fue evaluada únicamente en el sitio de Suchitepéquez razón por la cual no se incluyó el híbrido Dartagnian. Se determinó que los distintos híbridos alcanzan distintos tamaños y pesos. El híbrido con los frutos más pesados es la Nemo netta, seguida por Escudero y Tabaré. Los híbridos guardan la misma relación de peso a través de las clasificaciones de primera, segunda y tercera. Nemo Netta presenta los frutos de forma más redondeada mientras que Escudero y Tabaré son de forma alargada. Dentro de los frutos alargados Tabaré es el más largo, mientras que el Escudero lo es, en menor medida.

La proporción de calidad por peso también varío de acuerdo a los híbridos. En el caso de Nemo Netta y Escudero se observó una mayor proporción de frutos de primera que de segunda calidad mientras que en Tabaré se observó una mayor proporción de frutos de segunda calidad que de primera. La variedad con la mayor proporción de frutos de primera calidad fue Escudero, seguido por Nemo Netta, y Tabaré. El híbrido con la mayor proporción de frutos de segunda calidad fue Tabaré, seguido por Escudero y Nemo Netta. La Variedad con la mayor proporción de frutos de tercera calidad fue Tabaré y Nemo Netta y finalmente por Escudero.

### Las principales conclusiones resultantes de este estudio incluyen:

- Los híbridos de tomate Escudero, Nemo Netta, Dartagnian y Tabaré se adaptaron a las condiciones agroclimáticas de Sololá y Suchitepéquez en condiciones de cultivo bajo invernadero, sin embargo el híbrido Escudero es el que tuvo una mayor aceptación entre los agricultores.
- Aunque en todos los sitios evaluados, los rendimientos fueron superiores a los promedios nacionales, fue en Sololá en donde se obtuvieron los mayores rendimientos. Se cree que esta es una región con elevado potencial para el desarrollo de los cultivos bajo condiciones controladas.

### Agradecimientos

Al Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) quien por medio del programa *Food for Progress* 2010 (FFP10) financió la ejecución del presente estudio (Contrato OGSM: FCC-520-2010/026-00).

### Bibliografía

- Brewer M, Lang L, Fujimura K, Dujmovic N, Gray S y Van Der Knaap E (2006) *Development of a Controlled Vocabulary and Application to Analyze Fruit Shape Variation in Tomato and Other Plant Species* *Plant Physiology* **141**: 15-25
- Cifuentes R, Colmenares A, de León E, González X (2013) *Efecto de la sustitución parcial de fertilizante inorgánico y la calidad del tomate en invernadero (Lycopersicon esculentum Mill) en Sololá* *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*. No. 26.
- Huat J, Doré T, Aubry C (2013) *Limiting factors for yield of field tomatoes grown by smallholders in tropical regions* *Crop Protection* **44**: 120-127
- Jerónimo V (2009) *Apoyo técnico al proyecto de investigación FAUSAC-AGROCYT 032-2004 "Evaluación agrotécnica y económica de tres diseños de estructuras de protección (invernaderos) en cultivos hortícolas para áreas intertropicales, en el centro experimental docente de la Facultad de Agronomía, FAUSAC, Universidad de San Carlos de Guatemala, Tesis*
- MAGA (2011) *El agro en cifras 2011* Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala
- Pérez J (2010) *Trabajo de graduación realizado en tomate bajo condiciones de invernadero en unidad productiva de San Pedro Las Huertas, Antigua Guatemala, Sacatepéquez, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala Tesis.*
- Siglo 21 (2012) *Migran hacia la agricultura protegida en:* [<http://www.s21.com.gt/agricultura/2012/06/19/migran-hacia-agricultura-protegida>] visitado el 11/09/2013
- Van Der Ploeg A, Heuvelink E (2005) *Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield: a review* *J Hort Sci Biotechnol* **80**(6): 652-659



# Evaluación de tres tipos de cubierta para macrotúneles sobre el microclima y la productividad de chile pimienta (*Capsicum annuum*) en Escuintla y Sololá

Vilma Porres, Rolando Cifuentes & Edwin de León,

Centro de Estudios Agrícolas y Forestales, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** Se evaluaron los materiales agrotexil, malla y plástico combinado con malla como cubierta para macrotúneles, y su efecto sobre el microclima y la productividad de chile pimienta en comparación con el control a campo abierto. La evaluación se llevó a cabo en sitios ubicados a 292, 1695 y 2343 msnm en dos ciclos de cultivo, en años consecutivos. En el año 2012 se evaluaron los híbridos Nathalie y Cacique. En 2013 se evaluaron los híbridos Nathalie, Tecun y Cortes. Se determinó que el mejor material de cubierta para macrotúneles es el de plástico combinado con malla. Con este material de cubierta se obtuvo el mejor rendimiento promedio (42.3 t/ha) así como una temperatura y humedad relativa (32.2 °C y 52 %) apropiada para el cultivo. También se observó un aumento en la precocidad, y una reducción en las pérdidas causadas por enfermedades y quemaduras de sol. La cubierta de malla fue la segunda mejor en rendimiento (25.1 t/ha) generando un ambiente ligeramente más cálido que la de plástico combinado con malla y menor humedad relativa (32.7 °C y 49.5 %). Por último, con la cubierta de agrotexil se obtuvo un rendimiento promedio de 21.1 t/ha y una temperatura y humedad relativa de 32 °C y 50.5 % respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre el rendimiento de los distintos híbridos. El aumento en la productividad para cada material de cubierta en promedio fue de 4.4, 2.6 y 2.2 veces en las estructuras de plástico combinado con malla, malla y agrotexil respectivamente comparado con el control a campo abierto. Los resultados son los primeros que se generan en el país y se espera que sean de beneficio para aquellos productores y empresas que promueven este tipo de tecnología.

**PALABRAS CLAVE:** Agricultura protegida, macrotúneles, material de cubierta, chile pimienta.

of bell pepper was compared to open field conditions. The experiment was conducted during two cycles in consecutive years (2012-2013) in three sites at 292, 1695 and 2343 meters above sea level. In 2012 the bell pepper hybrids evaluated were Nathalie and Cacique. In 2013 the bell pepper hybrids evaluated were Nathalie, Tecun and Cortes. It was determined that the best cover material was the combination of anti-insect net with a plastic roof. With this cover material the highest yield (42.3 t/ha) was obtained. Temperature and relative humidity (32.2 °C and 52 %) within that high tunnel was the most appropriate for the crop. It was also observed that plants bloomed earlier and the loss in productivity due to sun burn and fungal diseases was reduced. The second best cover material was the anti-insect net alone with an average yield of 25.1 t/ha. It generated slightly higher temperatures and lower relative humidity (32.7°C and 49.5 %). Non woven fabric had the lowest production (21.3 t/ha) among the high tunnels. With this cover material the temperature obtained was 32 °C and 50.5 % relative humidity. No differences in yield were observed between the pepper hybrids. On average, the productivity was increased 4.4, 2.6 and 2.2 times in the tunnels with covering combining plastic with anti-insect net, anti-insect net alone and non woven fabric when compared to the yield under open field conditions. These results are the first ones in Guatemala and are expected to be useful for producers and companies that promote this kind of technology.

**KEY WORDS:** protected agriculture, high-tunnels, cover materials, bell peppers.

**Evaluation of three covering materials for high tunnels on the microclimate and productivity of bell pepper (*Capsicum annuum*) in Escuintla and Sololá**

**ABSTRACT:** Several materials for high tunnels covering were evaluated. These were: plastic over anti-insect net, anti-insect net alone and non woven fabric. The effect of the covering materials on the microclimate inside the tunnel and productivity

## Introducción

El chile pimienta es uno de los 5 cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial (Nuez et al. 2003). Los principales productores por volumen son China, México, Turquía e Indonesia (FAO 2013). Sin embargo los países que reportan los más altos rendimientos (256 t/ha) son los Países Bajos, Bélgica, Finlandia, Reino Unido y Kuwait (FAO 2013) los cuales producen en su mayoría bajo estructuras de protección.

En Guatemala el área dedicada a la producción es de 1,960 ha con un rendimiento promedio de aproximadamente 22 toneladas por hectárea (MAGA, 2011). Este cultivo se lleva a cabo mayormente a campo abierto en climas que van de templados a cálidos en la mayoría de los departamentos de Guatemala, incluyendo el Altiplano y la Costa Sur. Los departamentos que cuentan con la mayor área de producción son Jutiapa, Baja Verapaz, Chiquimula, Guatemala, Alta Verapaz y Sacatepéquez.

El cultivo requiere condiciones de temperatura cuyo óptimo va de 23 a 25 °C durante el día y entre 18-20 °C durante la noche, con un diferencial térmico día-noche entre 5-8 °C. Las altas temperaturas, especialmente asociadas a humedad relativa baja, conducen a la caída de flores y frutos recién cuajados. Esto sucede arriba de los 35°C, llegando a ser letal para la planta a los 45°C (Serrano, 2005). Las temperaturas inferiores a 15° C retrasan el desarrollo (Thompson y Kelly, 1957 En F. Nuez et al., 2003). El óptimo de humedad para la planta se encuentra entre el 50% y 60% (Castilla 2004).

En los últimos años las plagas, enfermedades y los eventos climáticos se han convertido en un factor limitante para la producción en Guatemala. Por tal razón ha surgido la tendencia de la puesta a punto de diversos sistemas de protección para la producción de hortalizas. Estos suelen ser instalaciones muy diversas entre sí; ya sea por las características y complejidad de sus estructuras o bien, por la mayor o menor capacidad de control del ambiente (Alpi y Tognoni, 2010).

Uno de los tipos de estructura de protección son los macrotúneles. Estos son estructuras de relativamente fácil instalación y manejo que tienen un costo menor que los invernaderos, por lo cual representan una opción viable para los agricultores que buscan un aumento en la productividad de sus cultivos. Los macrotúneles permiten controlar algunos factores siendo las plagas el de mayor importancia. Con estos es posible reducir las poblaciones de insectos vectores de virus (mosca blanca, trips, y áfidos) los cuales pueden causar daños severos a las plantaciones de tomate y chile pimiento, especialmente en las primeras etapas de desarrollo cuando las plantas son más susceptibles.

De acuerdo a Navas (2013) (comunicación personal), en el año 2001 la empresa Vista Volcanes introdujo a Guatemala los macrotúneles con agrotexil (conocido comercialmente como Agryl). Navas (2013) afirma que previamente no se conocía esta tecnología y que ante la problemática de las plagas, enfermedades y principalmente virus, el área de producción bajo macrotúneles ha ido en constante aumento desde el año 2004. Actualmente el país cuenta con aproximadamente 700 ha de macrotúneles para la producción de diversos cultivos, incluyendo tomate y chile pimiento. El agrotexil es el material de cubierta más comúnmente utilizado en macrotúneles con estructuras de tubos de PVC y hierro. Navas (2013) afirma que la principal ventaja de este material sobre otros es su costo ya que es accesible para la mayoría de pequeños productores.

Las condiciones climáticas en el interior del macrotúnel dependen de la estructura, los materiales utilizados y la interacción con el ambiente, entre otros. En túneles fijos cubiertos con plástico la temperatura llega a ser muy alta y las condensaciones de humedad son realmente importantes, llegando a causar problemas en la polinización y desarrollo de enfermedades fúngicas (Alpi y Tognoni, 2010).

Actualmente en Guatemala existe una tendencia hacia la producción agrícola en invernaderos y macrotúneles. Sin embargo la información técnica generada en nuestro medio es muy limitada. En este estudio se buscó determinar el material de cubierta ideal para el incremento de la productividad de los híbridos comerciales de chile pimiento.

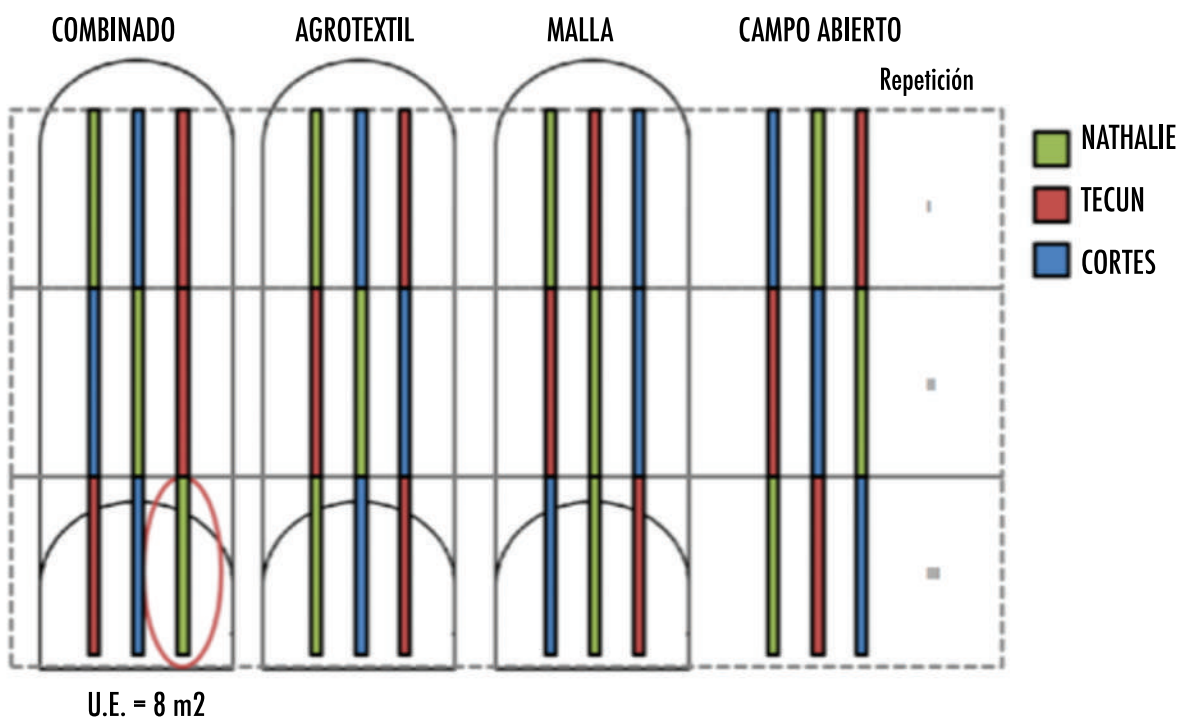
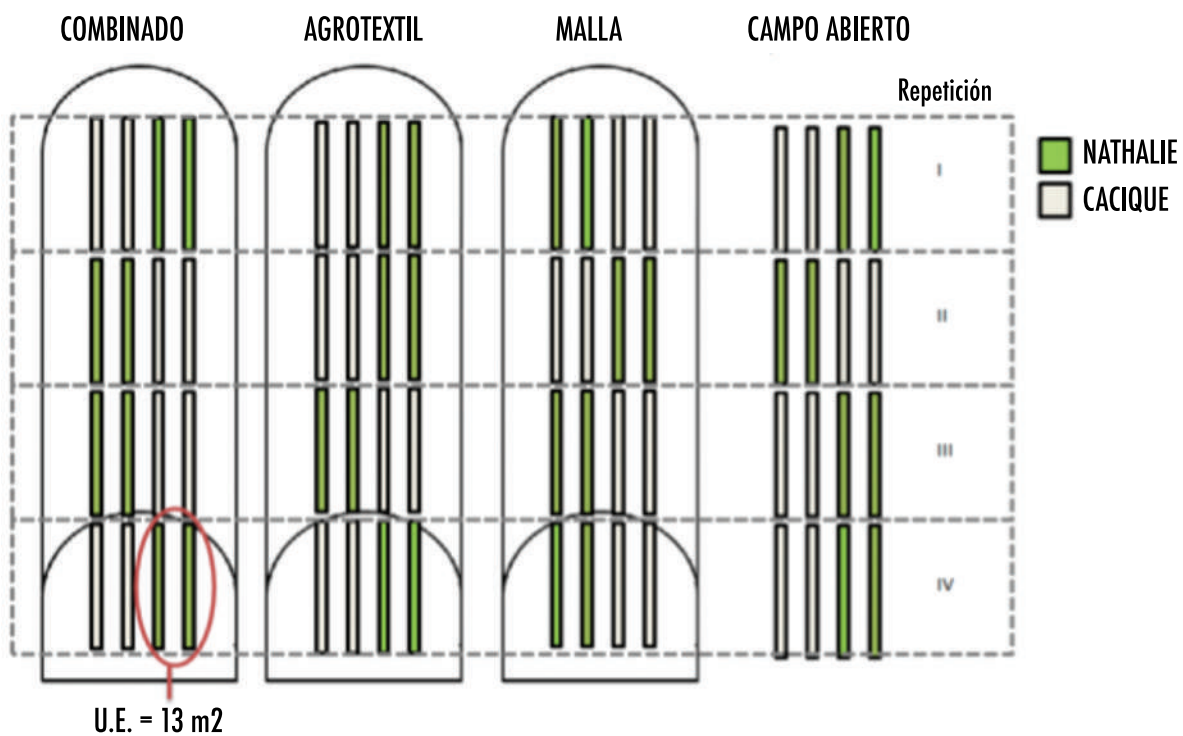
## Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo durante dos ciclos productivos en los años 2012 y 2013. Se realizó en tres sitios ubicados a 292, 1695 y 2343 msnm. Dos de los sitios (292 y 2343 msnm) se ubicaron en los campus externos de la Universidad del Valle de Guatemala: Campus Sur (Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla) y Campus Altiplano (Aldea El Tablón, Sololá). El sitio de altitud intermedia se ubicó con un productor colaborador en San Lucas Tolimán, Sololá.

**Cuadro 1.** Materiales de cubierta utilizados en los macrotúneles

| Material de Cubierta (Factor A) | Descripción                                                                                        |  |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Combinado plástico - malla      | Polietileno de baja densidad (57 % superficie) sobre malla anti insectos 50 mesh (100% superficie) |                                                                                       |
| Malla                           | Malla anti insectos 50 mesh                                                                        |                                                                                       |
| Agrotexil                       | Agryl (tela agrícola no tejida de polipropileno)                                                   |                                                                                       |
| Control                         | Sin material de cubierta                                                                           |                                                                                       |

Panorámica de los 3 tipos de cubierta utilizados en el estudio







Macrotunel plástico -malla



Macrotunel malla



Macrotunel agryl



Control a campo abierto

Gráfica 3. Apariencia de las plantas en cada una de las estructuras a 292 msnm

En el año 2012 el trasplante se realizó a mediados de agosto en el sitio a 292 msnm, y a principios y mediados de septiembre en los sitios a 1695 y 2343 msnm, respectivamente. En el año 2013 la siembra en los tres sitios se hizo a principios de julio.

En cada uno de los sitios se instalaron 3 macrotúneles con 3 distintos materiales de cubierta y un control a campo abierto (Cuadro 1). Los macrotúneles fueron contruidos de hierro galvanizado en forma de túnel semicircular fijo y totalmente cubierto con los materiales descritos en el Cuadro 1. Las medidas de cada túnel fueron 3.20 m de ancho, 2 metros de alto y 30 m de largo. Se hicieron 4 hileras sencillas con un distanciamiento de 65 cm entre ellas en el primer ciclo, y 3 hileras separadas a 80 cm entre hileras en el segundo ciclo.

En el primer ciclo productivo se evaluaron los híbridos Nathalie F1 (Syngenta) y Cacique (Vilmorin) (Factor B). En el 2013 se evaluaron, Nathalie F1 (Syngenta), Tecun F1 (Vilmorin) y Cortes F1 (Harris Morán). Estos fueron plantados a una distancia de 35 cm entre plantas.

En el ciclo 2012 cada unidad experimental consistió de dos hileras de chile de 6.5 m de largo (13 m<sup>2</sup>) (Gráfica 1). En 2012 el sitio a 1695 msnm únicamente se evaluó el híbrido Nathalie.

En el ciclo 2013 cada unidad experimental consistió de una hilera de 10 metros de largo (8 m<sup>2</sup>).

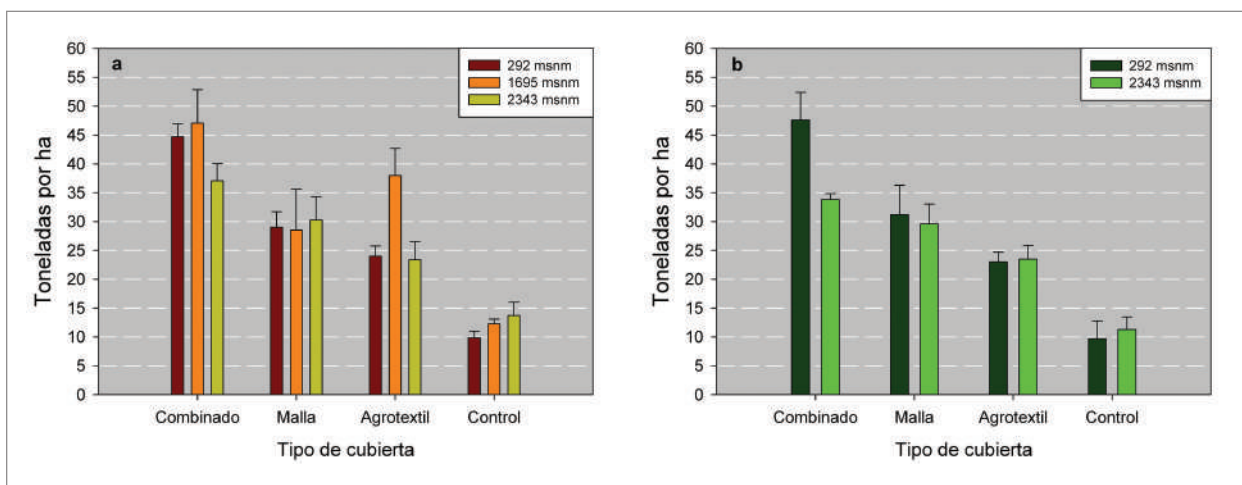
Para extraer el efecto de los factores (tipo de cubierta e híbrido de chile) los datos de cada sitio fueron analizados utilizando un diseño en parcelas divididas con distribución al azar con 4 repeticiones (Gráfica 1) en 2012 y 3 repeticiones en 2013 (Gráfica 2). La parcela grande fue el material de cubierta y la sub-parcela el híbrido de chile pimienta. Adicionalmente, se realizó un análisis combinado que incluyó los 3 sitios experimentales, el cual integró el efecto del ambiente. Se utilizó el programa MSTAT C (MSU 1988) como herramienta estadística.

Las variables de respuesta fueron rendimiento (ton/ha), días a floración, altura de la planta, fenología del cultivo así como temperatura y humedad relativa.

En cada unidad experimental se seleccionaron 5 plantas a las cuales se les dio seguimiento para la determinación de la altura de planta, días a floración y fenología del cultivo. En el sitio a 292 msnm también se clasificó el porcentaje de fruto dañado.

La temperatura y humedad relativa se registraron de 8:00 a 17:00 horas utilizando un *data logger* marca Lascar instalado en





Gráfica 4. Rendimiento del chile pimiento según el sitio experimental y el material de cubierta para los híbridos a) Nathalie y b) Cacique en el año 2012

el interior de cada macrotúnel a la altura de la planta. Se le colocó una pequeña pantalla pastica arriba del *data logger* para evitar que se mojara durante la época de lluvia.

La desinfección del suelo se realizó con el uso de Metam Sodio (Mercenario) 30 días antes del trasplante a una dosis de 1000 L/ha. El producto fue aplicado por medio del sistema de riego por goteo. Adicionalmente el cepellón de las plántulas fue sumergido durante unos segundos en una solución con los fungicidas Propamocarb (*Previcur*) y Carbendazim (*Derosal*) al momento del trasplante.

Se aportaron 245-112-350-93-45-36 kg/ha de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O-CaO-MgO-S, respectivamente en un programa de 20 semanas de fertirrigación. Las fuentes de los nutrientes fueron nitrato de potasio, nitrato de calcio, nitrato de amonio y sulfato de magnesio. La fertilización del fósforo se hizo al suelo utilizando la fórmula 11-52-0 (fosfato di amónico) a los 8 días después del trasplante. Los micronutrientes se aportaron por medio de la fertilización foliar (Bayfolan) con aplicaciones cada 21 días a partir de la floración.

## Resultados

### Productividad

Una panorámica de la apariencia de las plantas bajo los distintos materiales de cubierta en el sitio a 292 msnm se presenta en la Gráfica 3.

En el ciclo productivo del año 2012 se observaron diferencias significativas de rendimiento entre sitios ( $p < 0.05$ ). El rendimiento promedio de cada sitio para el híbrido Nathalie fue de 26.9, 31.5 y 26.1 t/ha a 292, 1695 y 2343 msnm respectivamente, siendo este estadísticamente superior a la altitud intermedia (Gráfica 4a). A 292 msnm y 2343 msnm el rendimiento del híbrido Cacique fue de 27.2 y 24.5 t/ha (Gráfica 4b).

El análisis combinado muestra que no hubo diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ) entre los dos híbridos evaluados. Sin embargo el análisis individual muestra una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el rendimiento obtenido en el sitio a 2343 msnm, en donde el híbrido Nathalie (26.1 ton/ha) fue mejor que el híbrido Cacique (24.5 ton/ha).

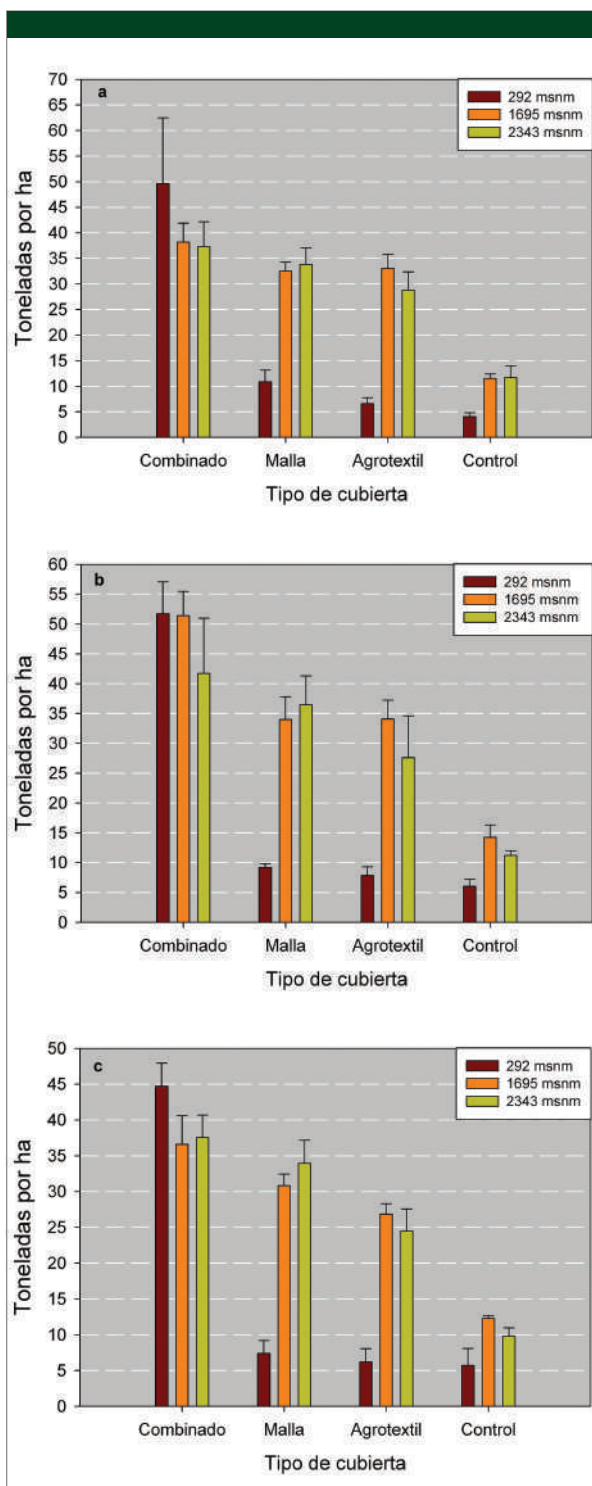
En cuanto al tipo de estructura hubo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) tanto en los sitios en los análisis individuales así como en el análisis combinado. Los rendimientos más altos fueron alcanzados consistentemente en el túnel que combina el uso de malla y plástico, seguido por el de malla que fue similar al de agrotexil y por último el testigo al aire libre, con 42.5, 29.5, 28.3 y 11.5 t/ha, respectivamente. La interacción híbrido de pimiento y tipo de cubierta no fue significativa ( $p > 0.05$ ).

En el ciclo 2013 también se encontraron diferencias significativas entre sitios ( $p < 0.05$ ) y entre los híbridos evaluados. El rendimiento promedio del chile Nathalie (Gráfica 5a) fue de 17.8, 28.8, 27.9 ton/ha en los sitios a 294, 1695, 2343 msnm respectivamente. Con la variedad Tecun (Gráfica 5b) se obtuvieron rendimientos de 18.7, 33.4, 29.2 ton/ha en los sitios a 292, 1695, 2343 msnm respectivamente. El rendimiento con el chile Cortes (Gráfica 5c) fue de 16, 26.6 y 26.4 ton/ha en los sitios a 294, 1695, 2343 msnm respectivamente.

El análisis combinado muestra que si existieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tres híbridos y entre los materiales de cubierta evaluados. En promedio el rendimiento con el macrotúnel combinado de plástico con malla el rendimiento fue de 43.2 ton/ha, 25.0 ton/ha para el de malla, 21.7 ton/ha para el de agrotexil, 9.6 ton/ha para el testigo a campo abierto.

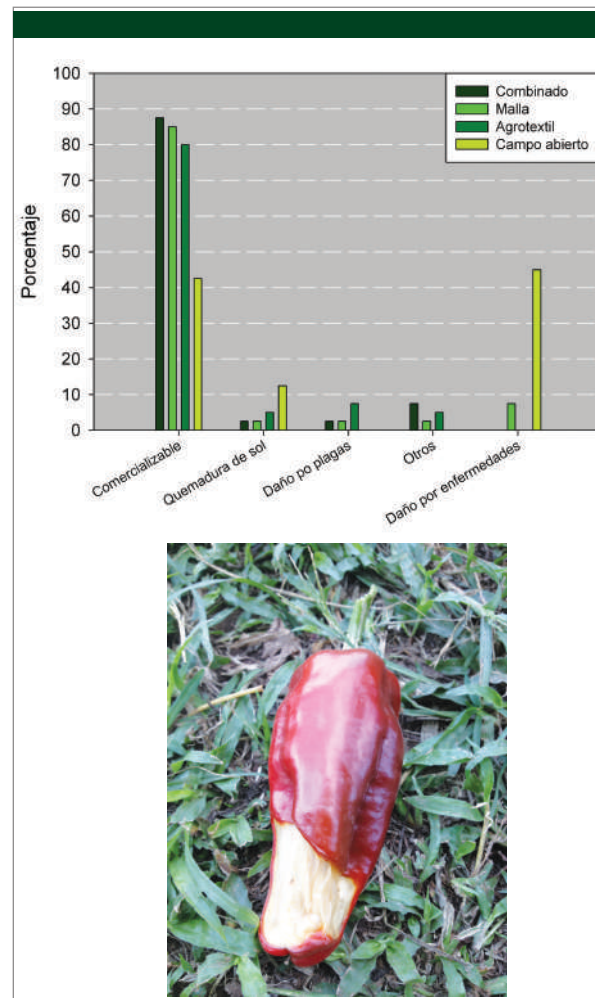
### Calidad del fruto

En el sitio a 292 msnm, durante el ciclo 2012, se observó un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) en la cantidad de fruto



**Gráfica 5.** Rendimiento del chile pimienta según el sitio experimental y el material de cubierta para los híbridos a) Nathalie, b) Tecun y c) Cortes en el año 2013

comercializable con el uso de macrotúneles (Gráfica 6a). Los tres tipos de cubierta presentaron resultados similares ( $p > 0.05$ ). El mayor nivel de daño se presentó a campo abierto, principalmente por la quemadura de sol (Gráfica 6b) y enfermedades.

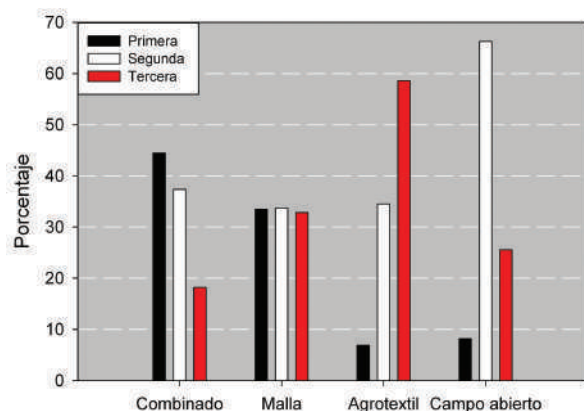


**Gráfica 6.** a) Frutos comercializables y daños causados al fruto y b) quemadura de sol en chile pimienta

En el sitio a 292 msnm, 2013, se clasificaron los frutos según tamaño en primera, segunda y tercera calidad (Gráfica 7). En el macrotúnel con cubierta de plástico combinado con malla se obtuvo un 44% de primera calidad, 37% de segunda y 18% de tercera. En macrotúnel de malla se obtuvo un 33, 34 y 33% de primera, segunda y tercera calidad respectivamente. En el macrotúnel de agrotex se obtuvo un 7% de primera calidad, 35% de segunda calidad y 59% de tercera calidad. En campo abierto el porcentaje obtenido de primera calidad fue de 8%, 66% de segunda y 26% de tercera calidad.

## Fenología del ciclo de producción

El efecto del sitio no solo fue notable en el rendimiento ( $p < 0.05$ ) sino también en la fenología del cultivo. En promedio para ambos híbridos, a menor altitud el tiempo para el inicio a cosecha se redujo (Cuadro 3 y 4). Se obtuvo una reducción en tiempo a cosecha de 61.5 días en promedio al comparar los datos del sitio a 292 msnm con los del sitio a 2343 msnm.



Gráfica 7. Porcentaje de frutos de primera, segunda y tercera calidad según tipo de estructura en el sitio a 292 msnm, ciclo 2013.

## Altura de planta

La tendencia fue hacia un aumento en el tamaño de planta a medida que disminuyó la altitud. Las plantas de chile pimiento híbrido tuvieron una altura promedio de 96, 73 y 43 cm en los sitios a 292, 1695 y 2343 msnm, respectivamente en el ciclo 2012.

En el ciclo 2012 según el tipo de material de cubierta los híbridos alcanzaron una altura de 91 cm en la cubierta de plástico combinado con malla (Gráfica 8a), 77.6 cm en la cubierta de agrotexil (Gráfica 8c), 66.3 cm en la de malla (Gráfica 8b) y 52.8 cm en el testigo a campo abierto (Gráfica 8d).

En el ciclo 2013 las plantas de chile pimiento híbrido alcanzaron una altura promedio de 100, 90 y 69 cm en los sitios a 292, 1695 y 2343 msnm, respectivamente. La altura de planta por tipo de material de cubierta fue de 117 cm en el macrotúnel con cubierta de plástico y malla (Gráfica 9a), 83 cm en el macrotúnel con cubierta de malla (Gráfica 9b), 79 cm en el macrotúnel de agrotexil (Gráfica 9c) y 67 cm a campo abierto como se observa en la Gráfica 9d.

## Temperatura y humedad relativa

La temperatura diurna promedio aumentó con el uso de los macrotúneles respecto a campo abierto. El incremento fue de 8.1, 7.1 y 3.3 °C para los sitios a 292, 1695 y 2343 msnm respectivamente (Gráfica 10a).

La humedad relativa diurna en general disminuyó con el uso de los macrotúneles respecto a campo abierto. La disminución fue de 15, 17 y 7 puntos porcentuales en los sitios a 292, 1695 y 2343 msnm respectivamente (Gráfica 10b).

En los ciclos 2012 y 2013 en la costa sur a 292 msnm se obtuvo una temperatura diurna promedio de 36.2, 36.5, 38.5 y 29 °C en los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente. La humedad relativa diurna promedio fue de 58.2, 55.7, 49.6, y 69.3 % en los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente (Gráfica 11).

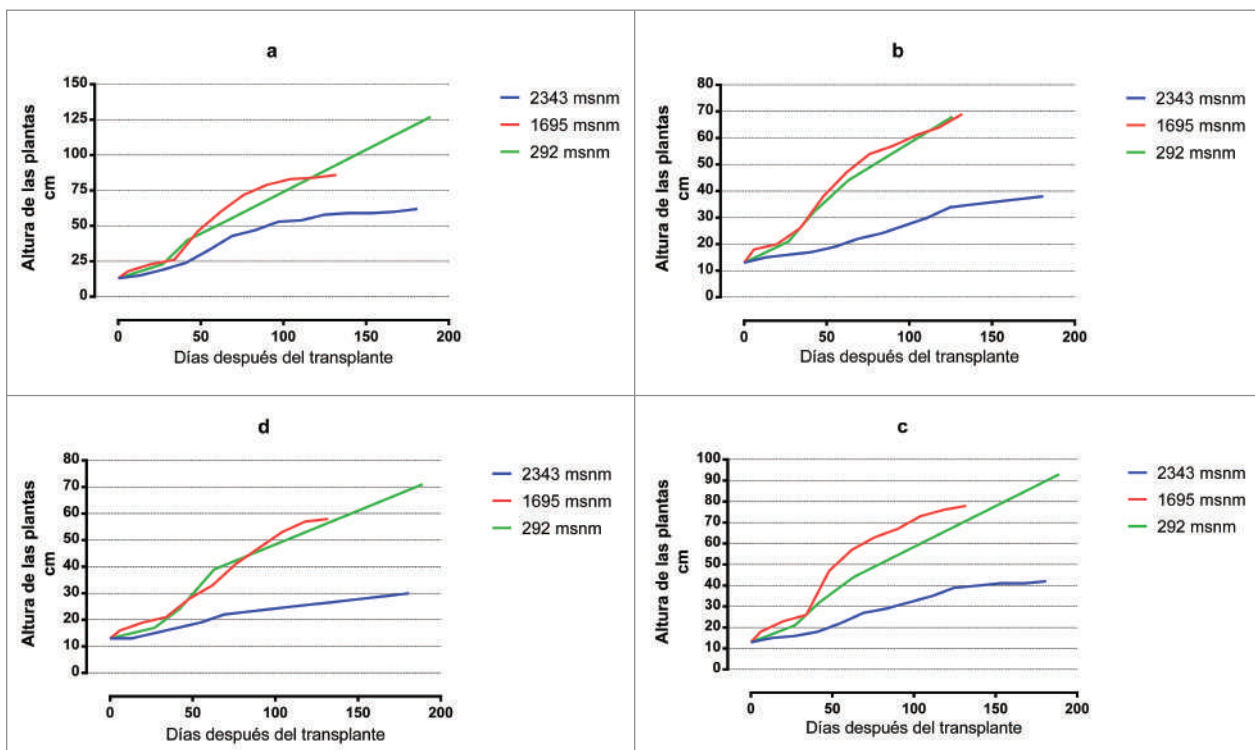
En los ciclos 2012 y 2013 en el sitio a 1695 msnm se obtuvo una temperatura diurna promedio de 33.5, 35.9, 31.6, y 26.6 °C en los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente. La humedad relativa diurna promedio fue de 46.7, 40.4, 50.3 y 62.8 % en

Cuadro 3. Fenología del cultivo a distintas altitudes ciclo 2012

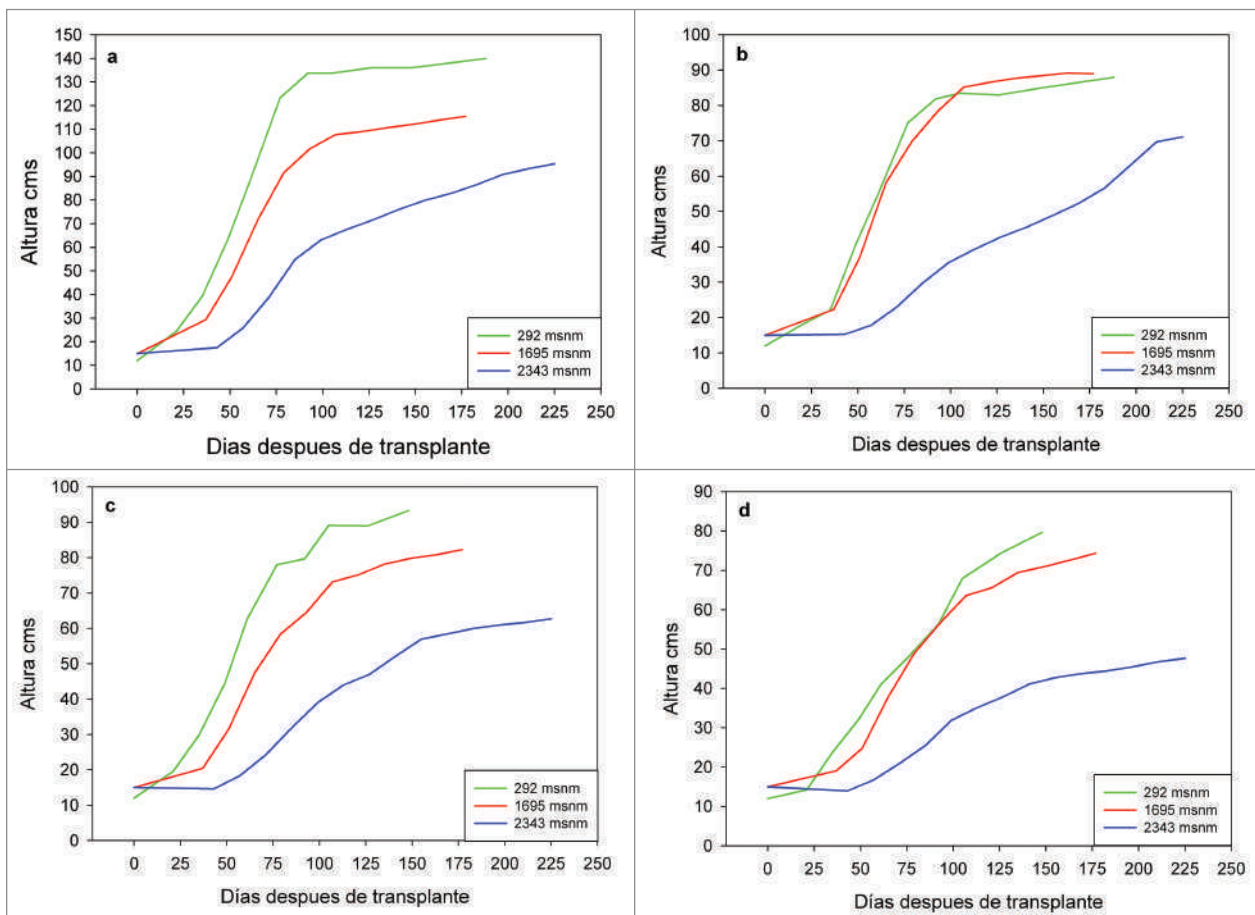
| Altitud (msnm) | Días a floración | Diferencia de días a floración respecto a 292 msnm | Días a cosecha | Diferencia de días a cosecha respecto a 292 msnm | Días a fin de ciclo |
|----------------|------------------|----------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------|---------------------|
| 292            | 42               | -                                                  | 93             | -                                                | 202                 |
| 1695           | 61               | 19                                                 | 129            | 36                                               | 190                 |
| 2343           | 67               | 25                                                 | 153            | 60                                               | 216                 |

Cuadro 4. Fenología del cultivo a distintas altitudes ciclo 2013

| Altitud (msnm) | Días a floración | Diferencia de días a floración respecto a 292 msnm | Días a cosecha | Diferencia de días a cosecha respecto a 292 msnm | Días a fin de ciclo |
|----------------|------------------|----------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------|---------------------|
| 292            | 38               | -                                                  | 77             | -                                                | 188                 |
| 1695           | 49               | 11                                                 | 105            | 28                                               | 185                 |
| 2343           | 64               | 26                                                 | 140            | 63                                               | 229                 |

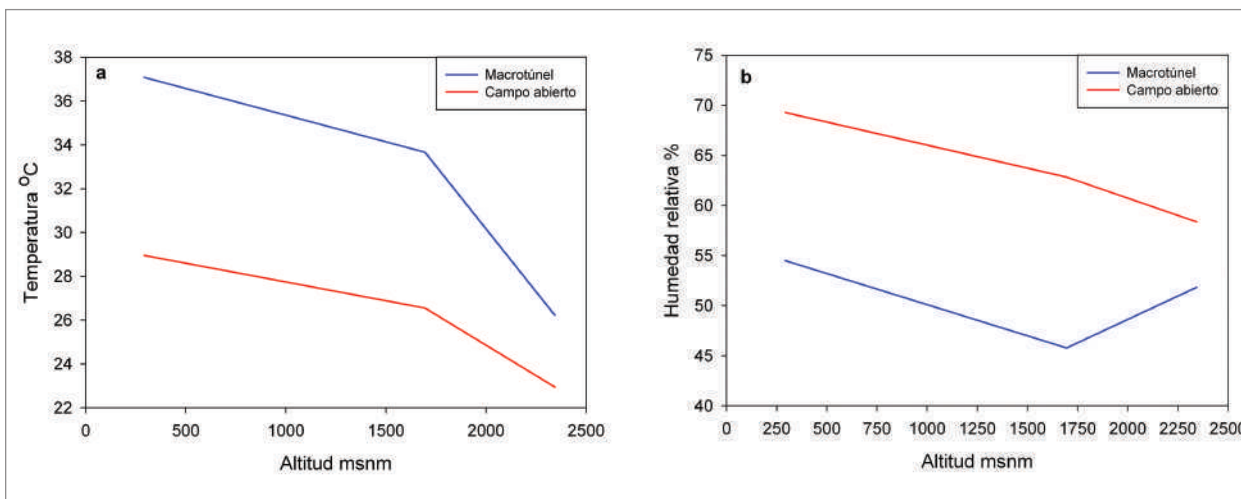


Gráfica 8. Altura promedio de las plantas de los híbridos Nathalie y Cacique en el ciclo 2012 según tipo de estructura. a) combinada, b) malla, c) agrotexil y d) campo abierto.

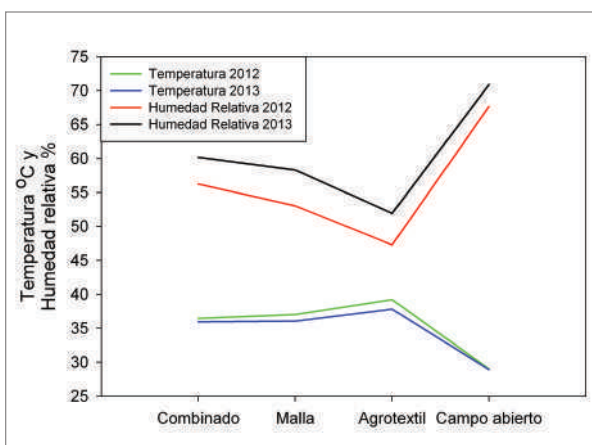


Gráfica 9. Altura promedio de las plantas de los híbridos Nathalie y Cacique en el ciclo 2013 según tipo de estructura. a) combinada, b) malla, c) agrotexil y d) campo abierto.

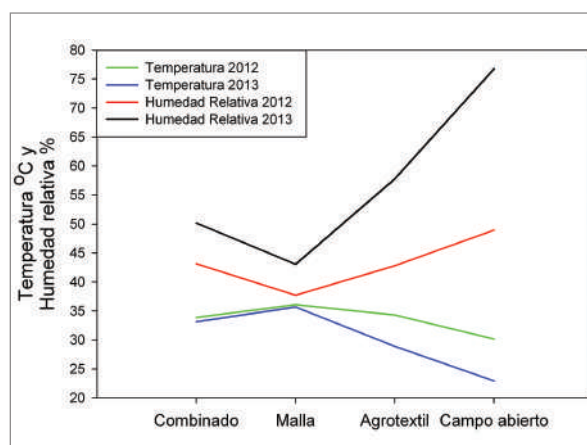




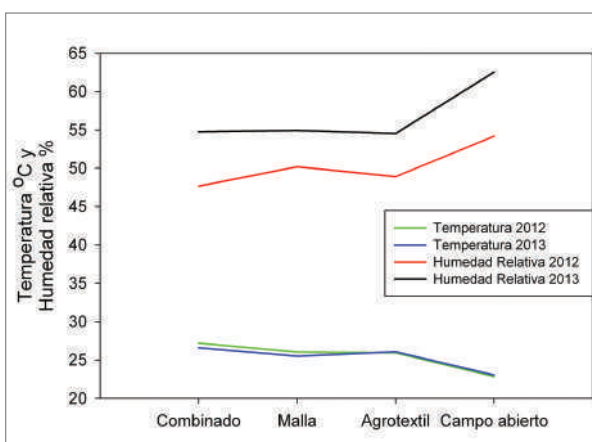
Gráfica 10. a) Temperatura en macrotúneles comparada con temperatura a campo abierto. b) Humedad relativa en macrotúneles comparada con campo abierto.



Gráfica 11. Temperatura y humedad relativa diurna promedio durante el ciclo 2012 y 2013 en el sitio a 292 msnm según tipo de material de cubierta.



Gráfica 12. Temperatura y humedad relativa diurna promedio en los ciclos 2012 y 2013 en el sitio a 1695 msnm.



Gráfica 13. Temperatura y humedad relativa diurna promedio en los ciclos 2012 y 2013 en el sitio a 2343 msnm.

los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente (Gráfica 12).

En el sitio a 2434 msnm durante los ciclos 2012 y 2013 se obtuvo una temperatura diurna promedio de 26.9, 25.8, 26.8 y 26.6 °C en los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente. La humedad relativa diurna promedio fue de 51.2, 52.6, 51.7 y 58.4 % en los macrotúneles de plástico combinado con malla, malla, agrotexil y a campo abierto respectivamente (Gráfica 13).

## Discusión y conclusiones

Indistintamente del tipo de cubierta, en todos los macrotúneles se obtuvo un incremento en la productividad al compararlos con el control a campo abierto. Este estudio encontró que con el uso de macrotúneles se logró obtener un aumento de la

productividad entre el 330 y 410% respecto al control campo abierto en Escuintla y entre 246 a 308 % en Sololá. Comparado con los rendimientos históricos de cada departamento, el incremento a la productividad con el uso de macrotúneles es de 198 a 305% en Escuintla y entre 417 a 533% en Sololá.

Estos resultados eran de esperarse ya que varios autores como Gerber et al. (1988), Salame-Denoso et al. (2010), Singh et al. (2013), han reportado muchas ventajas con el uso de túneles en comparación al campo abierto.

Los resultados de rendimiento con los diferentes tipos de cubierta fueron consistentes entre sitios experimentales. Resulta interesante como el simple hecho de colocar una cubierta plástica sobre el techo llevo a beneficiar grandemente la producción. Con esto se logró un incremento del 121 % sobre el que solo tenía la malla y 131% sobre el de agrotexil en el ciclo de 2012.

En el ciclo del 2013 el incremento en la productividad entre el macrotúnel que tenía malla combinada con plástico respecto al de agrotexil fue de 288%. El aumento de productividad entre el macrotúnel que tenía cubierta de malla respecto al de agrotexil fue de 329%. El aumento en la productividad se acentuó más en el ciclo de cultivo del año 2013, posiblemente debido al efecto negativo de las lluvias en los macrotúneles con cubierta permeable y a campo abierto.

Existieron algunas diferencias de temperatura y humedad relativa entre los tres materiales de cubierta evaluados. Esto se debió probablemente a que el efecto invernadero varía según las condiciones concretas de transmisión y absorción de la cubierta a las radiaciones y según las condiciones de ventilación y estanqueidad (Castilla 2004) del macrotúnel.

Al observar las temperaturas promedio generadas por los distintos materiales de cubierta (Gráficas 11, 12 y 13) se nota que excepto por el sitio a 2343 msnm (Gráfica 13), en los dos sitios restantes, la temperatura superó el óptimo reportado por la literatura para la planta de pimiento (23 – 25 °C). Sin embargo en promedio estas temperaturas no llegaron a un nivel letal (mayor a 45 °C) Posiblemente pudo haber alguna reducción en el rendimiento por estar arriba del óptimo ya que Erickson y Markhart (2001) han demostrado que las altas temperaturas reducen su productividad.

En cuanto a la humedad relativa así como en la temperatura, se observó que esta fue mayor en el sitio a 292 msnm, seguido por el sitio a 1695 msnm y finalmente en el sitio ubicado a 2343 msnm (Gráfica 10a y 10b). En general en los tres sitios se mantuvo cercano al nivel óptimo de humedad relativa 50 – 60% (Castilla 2004) tanto en los macrotúneles como a campo abierto. Las humedades relativas más bajas se observaron en los macrotúneles en los que la cubierta aumento más la temperatura.

El material de cubierta con el que se obtuvo la temperatura y humedad relativa promedio más cercana al óptimo fue la cubierta que combina el uso de plástico de polietileno (57% de la superficie) sobre una cubierta de malla (en el 100% de la

superficie con un 43% expuesto sin plástico). Este tuvo la capacidad aumentar en menor medida la temperatura en el sitio más cálido y en mayor medida en el sitio más frío lo cual indica una mayor capacidad para regular la temperatura acercándola al óptimo para la planta. Con esta cubierta además, se obtuvieron los mejores rendimientos, la mayor precocidad, altura de planta y la menor incidencia de quemadura de sol en el fruto.

Se observó que en los sitios ubicados a 292 y a 1695 msnm con la cubierta de plástico combinado con malla, se obtuvieron las temperaturas más bajas comparado con los otros materiales. La mayor reducción en la temperatura posiblemente se deba a que este recibía una menor cantidad de luz por el uso de los dos materiales sobrepuestos, los cuales, combinados causan un sombreado de 30 – 40% en este sitio con alta radiación solar (6 – 6.5 Kw/m<sup>2</sup>/d) (SWERA 2003). Sin embargo existen estudios (Reylsky y Spiegelman 1986) que determinaron que el sombreado óptimo para el cultivo de chile pimiento está entre 12 y 23%, más allá de esos valores el rendimiento se reduce por lo tanto no es conveniente excederse.

Por el contrario en el sitio ubicado a 2343 msnm esta misma cubierta de plástico combinado con malla fue la más cálida comparada con los otros materiales (malla y agrotexil). En este sitio donde la radiación solar es menor (5 - 5.5 Kw/m<sup>2</sup>/d) que en la costa sur (SWERA 2003), posiblemente no sea la forma más importante de transferencia de calor hacia el macrotúnel sino que lo sea la convección. Adicionalmente en este sitio existió una barrera rompe vientos lo que probablemente ocasionó una disminución en la ventilación de las estructuras.

El material de cubierta en el que se alcanzaron las segundas temperaturas y humedad relativa más apropiada para el cultivo de pimiento fue el de malla. En este también se obtuvo el segundo mejor rendimiento y precocidad, y tercer lugar en altura de planta. El material de cubierta causó un aumento de temperatura mayor que el que tenía el plástico colocado encima a pesar de que tenía una mayor capacidad de ventilación. Se cree que en los sitios donde se realizó la evaluación, la cantidad de luz que ingresa en el macrotúnel (aunque no fue medida) tiene una mayor influencia sobre la temperatura generada en el interior que la ventilación. Para este tipo de malla se reporta una transmisibilidad de luz de aproximadamente el 70-80 % y una reducción en la ventilación del 35% (Harmanto et al. 2006) en el 100% de su superficie.

En los macrotúneles con material de agrotexil, que es el material convencional de cubierta, se obtuvo el mayor incremento en la temperatura en promedio y la mayor disminución en la humedad relativa. Es el material que permite el mayor paso de luz entre los tres evaluados, entre el 80- 90% y una reducción en la ventilación del 5 – 25% (Nuez et al. 2003) En este se obtuvo la menor precocidad y bajos rendimientos comparados con los otros materiales de cubierta. Este último resultado podría estar relacionado con el mayor aumento de temperatura la cual se ha demostrado que tiene un efecto perjudicial especialmente en el cuajado de frutos (Erickson y Markhart 2001). El agrotexil



**Gráfica 14.** Daños en el agrotexil provocados por vientos

fue el material de cubierta que causó el mayor aumento de temperatura en el sitio más caliente y el menor aumento de temperatura en el sitio mas frio indicando que de los materiales evaluados tiene la menor capacidad de modificar el ambiente a favor de las plantas. Este material tiene un tiempo de vida reducido (3 - 5 meses) comparado con la malla (5 años) y el plástico (2 años). El agrotexil presentó daños por viento antes de llegar al final del ciclo (Gráfica 14) por lo cual tuvo que ser reemplazado incrementando los costos de producción.

La capacidad que tiene una cubierta para reducir la transmisión de luz y la capacidad de ventilación quizás sean las dos características con mayor influencia sobre el microclima de un macrotúnel. También son de gran importancia la capacidad de restringir el ingreso de las plagas, su durabilidad y costo.

En cuanto al rendimiento de los dos híbridos evaluados en 2012, Nathalie y Cacique no existieron diferencias significativas. En el ciclo 2013 en el análisis combinado se encontraron diferencias significativas entre los híbridos Nathalie, Tecun y Cortes. Otros estudios a campo abierto (González 2008,) encontraron híbridos como Tecún, Margarita y Arbua con rendimientos significativamente superiores a Nathalie. Sin embargo no encontramos estudios previos que compararan los otros híbridos evaluadas en este estudio.

*Las principales conclusiones resultantes del estudio incluyen:*

- El uso de macrotúneles demostró ser una opción técnicamente viable para el aumento de la productividad del cultivo de chile pimiento en las tres ubicaciones evaluadas en los departamentos de Escuintla y Sololá.
- Se demostró que a pesar de que la cubierta de agrotexil es la más comúnmente utilizada en Guatemala, la cubierta de plástico con malla brinda las mejores condiciones para la producción de chile pimiento en macrotúneles ya que tuvo el mejor resultado sobre el rendimiento, el microclima, la precocidad, altura de planta, y en la reducción de daños al fruto por quemadura de sol y enfermedades en el rango de altitud de 292 – 2343 msnm.
- Se puede utilizar cualquiera de los cuatro híbridos comerciales de chile pimiento (Nathalie, Cacique, Tecun y Cortes) en el rango de altitud de 292 a 2343 msnm.

## Agradecimientos

Al Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) quien por medio del programa *Food for Progress 2010* (FFP10) financió la ejecución del presente estudio (Contrato OGS: FCC-520-2010/026-00).

## Bibliografía

- Alpi A, Tognoni F (2010) *Cultivo en Invernadero* 3ra Ed, Ediciones Mundiprensa, Madrid
- Castilla N (2004) *Invernaderos de Plástico, Tecnología y Manejo* Ediciones Mundiprensa, Madrid
- Erickson A, Markhart A (2001) *Flower production, fruit set and physiology of bell pepper during elevated temperature and vapour pressure deficit* J Am Soc Hort Sci **126**(6): 697 – 702
- FAO (2013) *FAOSTAT* en: [<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QC/S>] visitado el 09/09/2013
- Gerber J, Mohd-Khair I, Splittosesser W (1988) *Row tunnel effects on growth yield and fruit quality of bell pepper* Scientia Hort **36**(3-4): 191-197
- González V (2008) *Evaluación agronómica de cuatro materiales de chile (Capsicum frutescens) en campo abierto en una localidad en el municipio de Copan Ruinas, Honduras* Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala (Tesis)
- Tantau HH, Salokhe (2006) *Influence of insect screens with different mesh sizes on Ventilation rate and microclimate in greenhouses in the humid tropics* Ag Eng Internat the CIGR Journal Manuscript BC 05 017 Vol VIII
- INE (2003) *IV Censo Agropecuario Guatemala* en: [<http://www.ine.gob.gt/np/agropecuario/index.htm>] visitado el 16/09/2013.
- MAGA (2011) *El Agro en Cifras* Dirección de Planeamiento, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala
- Montaño-Mata N, Cerdeño E (2002) *Evaluación agronómica de siete cultivares de pimentón (Capsicum annum)* Revista UDO Agrícola (Venezuela) **2**(1): 95 -100
- Nuez F, Gil Ortega R, Costa J (2003) *El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes* Mundiprensa, Madrid
- Navas L (2013) Comunicación personal
- Salame-Denoso T, Santos B, Chandler C, Sargent S (2010) *Effect of high tunnels on the growth, yields and soluble solids of strawberry cultivars in Florida* Internat J Fruit Sci **10**(3): 249 -263
- Serrano Sermeño Z (2005) *Construcción de Invernaderos* 3a ed Ediciones Mundiprensa, España
- Singh K, Singh R, Khurana DS, Singh J (2013) *Effect of low poly tunnel on the growth, yield and harvesting span of sweet pepper* Hort Flora Res Spec **2**(1): 45 – 49
- SWERA (2003) *Central America Normal Radiation Map* en: [<http://en.openei.org/w/index.php?title=File:NREL-camdriann.pdf&page=1>] visitado 6/09/2013

# La asociatividad como factor de sostenibilidad en asociaciones de productores agrícolas y agroindustriales

Alfredo Estuardo Bedregal Calvinisti

Departamento de Antropología y Sociología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidades del Valle de Guatemala

**RESUMEN:** Este artículo sistematiza un estudio realizado para definir y validar participativamente, con cuatro grupos de productores agrícolas y agroindustriales, herramientas metodológicas y un modelo organizacional adecuado a sus conocimientos y capacidades, en el marco del componente de asociatividad del proyecto UVG USDA FFP10. También explica la importancia de impulsar equilibradamente procesos de construcción de capacidades de producción, comercialización y organización en los beneficiarios. Las capacidades organizacionales, lamentablemente, suelen descuidarse en proyectos de desarrollo rural y emprendimiento. En tres de los cuatro grupos se logró diseñar los modelos organizacionales y validarlos participativamente, aunque su viabilidad en el futuro no está asegurada. La construcción de capacidades de producción y comercialización en los beneficiarios favoreció el emprendimiento y la satisfacción de sus necesidades básicas, pero probablemente no será suficiente para seguir con el proceso de asociatividad.

**PALABRAS CLAVE:** emprendimiento, desarrollo rural, desarrollo organizacional, sostenibilidad.

**KEYWORDS:** entrepreneurship, rural development, organizational development, sustainability.

## Introducción

Este no es un artículo científico en sentido estricto. Es, más bien, la sistematización de un estudio práctico<sup>1</sup>, orientado a definir y validar participativamente, con cuatro grupos de productores, herramientas metodológicas y un modelo organizacional adecuado a sus conocimientos y capacidades, en el marco del componente de asociatividad del proyecto UVG USDA FFP 10 –en adelante el proyecto. De estos grupos, se hará hincapié en uno de ellos, por considerarse que tiene el mayor potencial para impulsar la asociación de producción que se estableció legalmente. El grupo fue el de Ciénaga Grande, localizado en Santa Lucía Utatlán, Sololá. El nombre que asumió este grupo fue Asociación de Productividad y Desarrollo Agrícola Sostenible –en adelante PRODEAGRO.

También se busca explicar la importancia de impulsar procesos de construcción de capacidades en los beneficiarios, de la forma más equilibrada posible, en las dimensiones de producción, comercialización y organización. Esta última, determinante para la sostenibilidad de iniciativas grupales de emprendimiento empresarial de productores agrícolas y de otra índole, suele, lamentablemente, descuidarse por diversos motivos. Ello ha requerido incorporar en este artículo una breve discusión teórica sobre este asunto y, en función de ella, fundamentar el diseño y la readecuación de herramientas metodológicas que se aplicaron en cada uno de los grupos para diseñar un modelo organizacional, viable para su implementación. Vale agregar que este diseño se fundamentó en un criterio básico: partir de los conocimientos, las prácticas y las experiencias productivas, comerciales y organizacionales cotidianas de los beneficiarios, que ya habían adquirido, como resultado de la intervención del proyecto, o que traían incluso antes del inicio del mismo.

## Associativity as a factor of sustainability in rural local organizations

**ABSTRACT:** This article outlines the results of a study carried out as part of the UVG USDA FFP10 project with the objective of designing and validating an organizational model and its tools with four agricultural groups, with an active participation according to their capacities and current knowledge. It also explains the importance of improving in a balanced way the capacity for producing and selling their products. In three of the four groups it was possible to design the organizational models and its further validation in a participatory process, even though its future viability is not assured. Improvement in production and selling capacities favored entrepreneurship and their basic needs, but that may not be enough to guarantee the associativity process. Unfortunately, the organizational capacities are often neglected in projects related to rural development and entrepreneurship.

<sup>1</sup>Consultoría de organización para la producción y sostenibilidad, del proyecto UVG USDA FFP 10.



En tres de los cuatro grupos se logró formular los modelos organizacionales y validarlos participativamente, aunque su viabilidad en el futuro no está asegurada por diversos motivos. Se resalta, empero, el cierre, en los primeros meses de 2014 del proyecto y, con ello, dejar a cada uno de los grupos con el desafío de implementar por su propia cuenta la asociación que se estableció legalmente. Los riesgos de fracaso son altos, pues no habrá una entidad que dé seguimiento a la asociatividad. Se concluye que la creación de capacidades de producción y comercialización en los beneficiarios favoreció el emprendimiento de estos, así como la satisfacción de sus necesidades básicas, pero que ello probablemente no sea suficiente para mantener la asociatividad.

## Empresas campesinas asociativas y modelos organizacionales

Uno de los principales cometidos de los proyectos de desarrollo productivo en los espacios rurales es constituir organizaciones de producción que logren insertarse en el mercado mediante la comercialización eficiente de un bien, que lleguen a ser rentables y se mantengan en el mercado, después del retiro del proyecto. Este rasgo en el ciclo de proyectos se conoce como sostenibilidad, y es lo que persigue toda iniciativa de cambio planificado: que un grupo de beneficiarios siga gozando de un bien después del cierre del proyecto. La experiencia de desarrollo rural en América Latina ha buscado lograr este objetivo mediante la constitución de empresas campesinas asociativas (ECAS), las cuales se constituyen legalmente como asociaciones o cooperativas cuyos miembros son campesinos o productores agrícolas de pequeña escala, que tienen por objetivo la producción y comercialización de un bien agropecuario, gracias a la dotación de activos o construcción de capacidades por parte de un proyecto (Berdegú, 2003).

La Fundación para la Innovación Agraria (2010), en lo que concierne a las experiencias de desarrollo productivo en Chile, sostiene que las ECAS tienen el potencial de favorecer el desarrollo local en los espacios rurales en cuanto pueden consolidar economías de escala, reducir costos de transacción, acceder a servicios técnicos y apoyos a la gestión, negociar volúmenes de producción e insumos atractivos para los mercados, iniciar procesos de manejo post-cosecha y elaborar productos con mayor valor agregado. A pesar de todas estas ventajas, la experiencia muestra que solamente algunas ECAS logran ser sostenibles económica y financieramente. Berdegú (2003), en su estudio de las ECAS en Chile, estimó que aquellas que han logrado ser exitosas han mostrado un desempeño institucional adecuado, basado en normas que gobiernan las relaciones entre socios, la ECA y el exterior<sup>2</sup>.

En otro estudio realizado por la Fundación para la Innovación Agraria y el Centro de Gestión de la Araucanía (2007), se concluyó «que el desarrollo institucional de las organizaciones económicas es tan o más importante que su fortalecimiento técnico o empresarial». Lo anterior sirve de base para presentar y cuestionar una tendencia común en los proyectos de desarrollo rural con componentes productivos: los mismos tienden a dar prioridad a los componentes técnicos y productivos, y dejar para las últimas etapas la ejecución de los de índole organizacional que, de haberse impulsado de forma paralela y equilibrada con los primeros, habrían contribuido a la construcción o el fortalecimiento de la asociatividad, factor clave para incrementar las probabilidades de sostenibilidad de las asociaciones. En el estudio citado anteriormente, también se advierte que el desarrollo institucional debe orientarse a exponer a los socios de las ECAS al funcionamiento del mercado, lo cual no puede sustituirse mediante la transferencia de capacidades humanas, tecnológicas y financieras. La transferencia de capacidades es innegablemente importante, pero no el único objetivo de las intervenciones con enfoque productivo, pues se corre el riesgo de descuidar aspectos importantes de emprendimiento y asociatividad.

Lo anterior justifica la importancia del desarrollo institucional para la sostenibilidad de la iniciativa productiva cuando el proyecto se haya retirado. Ello supone que, desde el inicio del proyecto, debe desarrollarse una estructura social que organice las relaciones y las capacidades de los integrantes del grupo al que busca apoyarse mediante la transferencia de activos y construcción de capacidades para la producción y la comercialización de bienes. Esta estructura social puede constituirse como un modelo organizacional a partir de los conocimientos, experiencias y prácticas locales de los beneficiarios en materia de organización, producción y comercialización. Otro elemento básico del proceso para constituir estos modelos organizacionales es la participación de los integrantes.

Se buscó definir participativamente con los beneficiarios de cuatro grupos seleccionados del proyecto sus correspondientes modelos organizacionales. En cada grupo se buscó partir de los conocimientos, experiencias y prácticas organizativas, productivas y comerciales ya desarrolladas. Para ello, se siguieron los siguientes pasos:

- a. Se adecuaron a los contextos de los grupos seleccionados herramientas metodológicas que se han utilizado en otros países.
- b. Se diseñó un taller participativo en el que se buscó que cada grupo definiera su modelo organizacional de acuerdo a sus conocimientos y experiencias, y en función de las herramientas adecuadas al contexto.
- c. Se realizaron cuatro talleres, dos en la Costa Sur y dos en el altiplano occidental.

<sup>2</sup>Entre esas normas están: límites sobre quiénes son socios, cuáles son sus obligaciones y sus beneficios; participación en la definición y modificación del sistema de reglas para propiciar su legitimidad; empleo de sistemas de monitoreo para sancionar a quienes violan las reglas e incumplen con sus responsabilidades y utilización de mecanismos para transformar conflictos.

- d. Se definieron los modelos organizacionales con el insumo obtenido de los talleres realizados.
- e. Se validaron participativamente los modelos organizacionales.

La adecuación al contexto de las herramientas metodológicas del modelo organizacional se consideró adecuada debido a lo ineficaz que ha resultado la mera réplica de experiencias, muchas veces implementadas sin tomar en consideración condiciones concretas de los territorios. Esta réplica ingenua de estrategias, procesos o herramientas metodológicas se fundamenta en el hecho que en otras partes se han construido en función del conocimiento indígena, ancestral o local de grupos concretos, pero obviando que éstos viven en lugares con ecosistemas, culturas y actividades económicas distintas. Se obvian características esenciales de los conocimientos y las prácticas indígenas cuando se busca que las mismas se constituyan en herramientas para el desarrollo, prontas a replicarse en otros contextos. Briggs (2008:109) expone este punto de forma clara:

«An additional problem with indigenous knowledge in the context of development is the empirical emphasis of much of the work and the extent to which it is place-specific, and hence not easily transferable over geographic space».

Lo anterior no significa que el conocimiento indígena o local no pueda servir como insumo para diseñar e implementar herramientas de desarrollo. Se trata más bien de entender que estas no pueden aplicarse en otros contextos, ecológica, cultural y socialmente diferenciados, sin adecuación o validación participativa. En el transcurso de este estudio se realizaron dos actividades básicas para reducir el riesgo de generalizar experiencias exitosas en lugares ajenos a tales experiencias: se adecuaron las herramientas metodológicas para definir modelos organizacionales y se validó el modelo organizacional, una vez definido participativamente con cada grupo.

## Definición del modelo organizacional a implementar

Después de haberse revisado diferentes modelos organizacionales y herramientas para su aplicación, se escogió el modelo de gestión organizacional de empresas campesinas desarrollado por el Centro de Gestión Empresarial de la Araucanía (Fundación para la Innovación Agraria, 2010:8). El objetivo de este modelo fue aumentar la competitividad de las ECAS, hacerlas sostenibles a largo plazo y aumentar sus ganancias (ibíd.). Se tuvo en cuenta que este proceso iba dirigido tanto a asociaciones de productores agrícolas como agroindustriales (panificación y elaboración de embutidos).

La metodología que fue adecuándose buscó superar una falencia común en proyectos de desarrollo agropecuario en América Latina:

el descuido de la dimensión organizacional. La experiencia demuestra que las empresas agrícolas suelen dirigir sus esfuerzos hacia tres de cuatro pilares empresariales que se consideran básicos para la sostenibilidad. Son estos pilares el productivo, el de comercialización, el de gestión y el organizacional (ibíd.). Este último suele obviarse completamente o retomarse ligeramente en las últimas etapas del proyecto, “desconociendo que éste es uno de los conceptos de mayor relevancia y trascendencia en grupos de personas que intentan desarrollar un proyecto en común, orientado a lograr su sustentabilidad en el largo plazo (ibíd.)”.

El modelo original que se expone a continuación persigue mejorar la competitividad de las ECAS. Se implementa en dieciséis etapas, sin definirse un marco temporal para ello. Cuenta con tres componentes básicos: sustentabilidad y aumento de beneficios en el largo plazo, producto y proceso. En este trabajo realizado con los grupos de productores beneficiados por el proyecto, se utilizó solamente el primer componente, pues se consideró el único susceptible de implementarse en los grupos seleccionados en esta fase de la intervención.<sup>3</sup> El modelo original para impulsar el desarrollo organizacional en empresas campesinas se presenta en la figura 1.

Como resultado de la adecuación, el modelo organizacional que se definió en los grupos seleccionados consta de los siguientes componentes: a) visión y misión de la organización; b) estructura empresarial; c) unidades, jerarquía, cargos, responsabilidades e incentivos en la estructura organizacional y d) competencias o capacidades internas con las que ya cuenta el grupo en producción, comercialización, administración y organización.

## Adecuación de la metodología para definir el modelo organizacional

Como ya se indicó, el modelo original de organización sostenible se implementaba en 16 etapas, pero el de este proceso, en el que se excluyeron diversos componentes, se redujo solamente a cuatro etapas que, realizadas en un taller participativo, permiten formular un modelo organizacional mínimo y adecuado a los conocimientos, experiencias y prácticas locales de producción y comercialización de cada grupo de beneficiarios. Las etapas que se diseñaron para definir participativamente el modelo organizacional adecuado a este estudio son:

- a. **Etapla 1.** Definir su visión y misión organizacional.
- b. **Etapla 2.** Elaborar una estructura organizacional en la que se hayan definido los cargos de ésta, con sus respectivas responsabilidades, recompensas y jerarquías.
- c. **Etapla 3.** Identificar las actividades que hasta ese momento han permitido al grupo desarrollarse y que deben fortalecerse, que en adelante se llamarán “buenas prácticas”.

<sup>3</sup> Algunos beneficiarios ya producían y comercializaban bienes al menudeo tanto individual como colectivamente. No obstante, aún no se habían sentado las bases de una estructura organizacional básica para definir roles, enmarcarlos y distinguirlos en función de atribuciones, responsabilidades e incentivos. Tampoco quiere afirmarse que otros componentes, como la diferenciación del producto o la implementación de estrategias competitivas no se hubieran trabajado en el marco de intervención del proyecto, pues en otro componente se impulsó la incubación de empresas mediante la implementación de planes de negocios, ferias de productores, entre otras actividades.

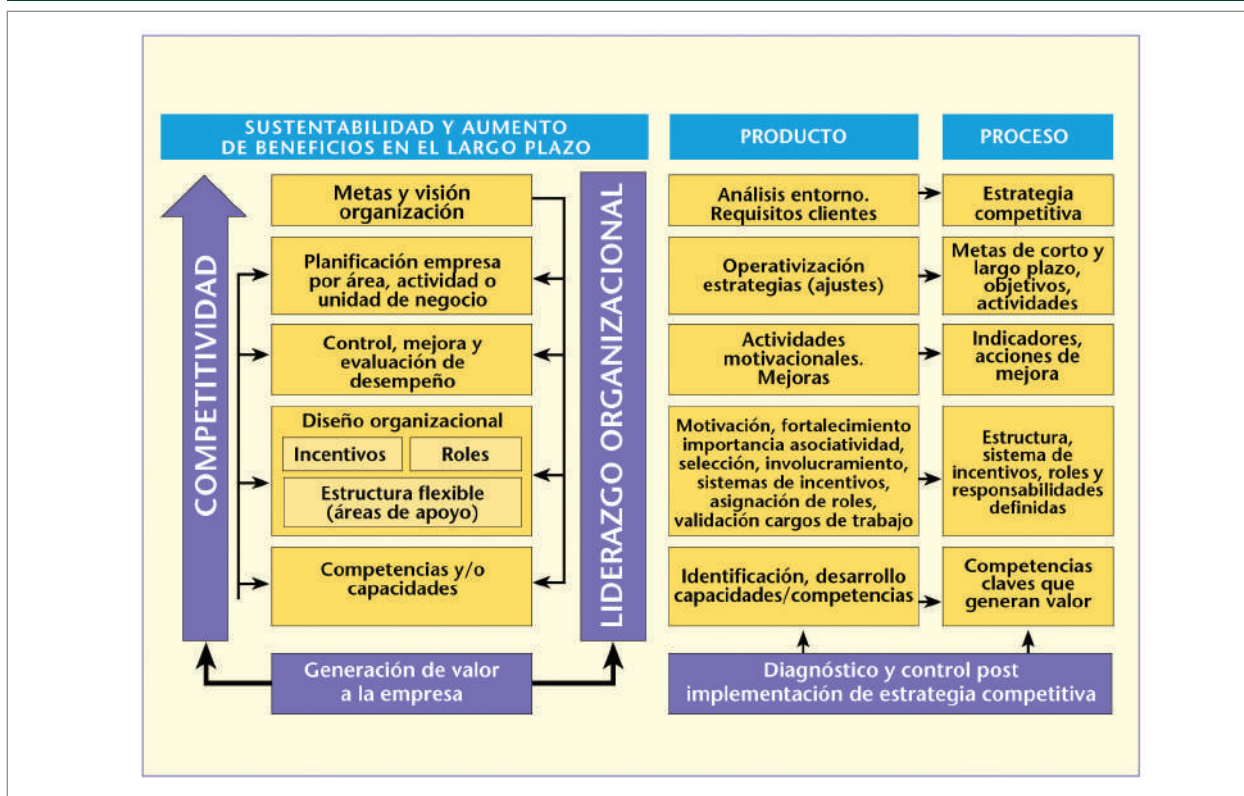


Figura 1. Esquema organizacional para empresas campesinas asociativas

Fuente: Fundación para la innovación agraria. (2010). *Resultados y lecciones en organización de empresas asociativas campesinas. Proyecto de innovación en IX Región de la Araucanía*. Chile: Ministerio de Agricultura.

**d. Etapa 4.** Identificar las actividades que hasta ese momento han impedido al grupo desarrollarse y que deben transformarse, que en adelante se llamarán “prácticas negativas”.

A partir de la estructura organizacional que se obtuvo y de las competencias y prácticas identificadas para cada grupo, se pudo definir en qué áreas (productiva, comercial, de gestión y organización) se requerían apoyos adicionales, tales como capacitaciones o dotación de recursos. Se explica ahora cada una de las etapas para definir participativamente el modelo organizacional.

La primera etapa consistió en definir funcionalmente la estructura empresarial de cada grupo. Para ello se contempló que cada grupo podía presentar dos situaciones: a) el grupo ya funcionaba con una estructura previamente definida en materia de puestos, responsabilidades e incentivos o b) el grupo no contaba con una estructura organizacional definida. En los cuatro grupos se tuvo la segunda; los beneficiarios aún no se habían organizado formalmente y ello llevaba a suponer, como finalmente se constató, que buena parte de ellos seguía produciendo y comerciando individualmente sus productos, aunque se beneficiaría de las capacitaciones y utilizara los activos productivos transferidos por el proyecto bajo un marco asociativo. En la línea de transformar la situación anterior, la primera etapa del

taller participativo buscó definir una visión y una misión de la futura asociación, en las que convergieran intereses y metas compartidas por sus integrantes. Los pasos de esta etapa fueron:

- Lluvia de ideas para formular, con los aportes de cada participante, una visión y misión de la futura asociación.
- Definición participativa de la visión y misión de la asociación.
- Consenso de la visión y misión de la asociación por parte del grupo.

Después de esto, se inició la segunda etapa, con la definición de la estructura organizacional con sus respectivas unidades, cargos, responsabilidades e incentivos. En ninguno de los grupos se encontró una estructura organizacional previamente definida, por lo que fue necesario partir de la misión y la visión consensuadas. La estructura organizacional, entendida como el soporte de la futura asociación o empresa, consta de tres niveles básicos: estratégico, táctico y operativo. Para que las organizaciones puedan llegar a ser sostenibles y competitivas, deben desarrollar los tres niveles de manera equilibrada, pues cada uno cumple con una función propia, cuya concreción requiere a su vez de unidades que realicen acciones puntuales. En el Cuadro 1 se presentan estos niveles con sus respectivas actividades y unidades.

**Cuadro 1.** Niveles propios de una estructura empresarial

| Nivel       | Actividades que se realizan en cada nivel                                                                                                                                                               | Unidades                                                                                                  |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estratégico | Toma decisiones relevantes para toda la organización que requieren del apoyo de todos los integrantes de la organización.                                                                               | Asamblea General                                                                                          |
| Táctico     | Ponen en marcha las decisiones de la asamblea general, coordinan acciones de toda la organización en el nivel operativo y toman decisiones concretas en la administración cotidiana de la organización. | Junta Directiva                                                                                           |
| Operativo   | Realizan las actividades concretas de la organización que la mantienen funcionando.                                                                                                                     | Comercialización, producción, contabilidad, apoyo secretarial, publicidad y mercadeo, mantenimiento, etc. |

Fuente: Elaboración propia, tomando como referencia solamente los niveles sugeridos por *Resultados y lecciones en organización de empresas asociativas campesinas* del Proyecto de innovación en la IX Región de la Araucanía, publicado conjuntamente por el Ministerio de Agricultura de Chile y la Fundación para la Innovación Agraria en 2010

**Cuadro 2.** Formato recomendado para definir las unidades, cargos, responsabilidades e incentivos de la organización

| Nivel       | Unidades | Cargos | Reporta a: | Responsabilidades | Incentivos |
|-------------|----------|--------|------------|-------------------|------------|
| Estratégico |          |        |            |                   |            |
| Táctico     |          |        |            |                   |            |
| Operativo   |          |        |            |                   |            |

Fuente: Adecuación de los formatos contenidos en el anexo metodológico de *Resultados y lecciones en organización de empresas asociativas campesinas* del Proyecto de innovación en la IX Región de la Araucanía, publicado conjuntamente por el Ministerio de Agricultura de Chile y la Fundación para la Innovación Agraria en 2010

El siguiente paso de esta etapa consistió en definir qué unidades, con sus respectivos cargos, jerarquía, responsabilidades e incentivos corresponden a cada nivel. Un elemento propio de esta intervención es que se buscó que las mismas las definieran los participantes, utilizando como principal insumo sus conocimientos y experiencias, las cuales se fueron estructurando de acuerdo a los marcos metodológicos de cada herramienta. En los cuatro grupos, se utilizó el Cuadro 2 para tal fin.

La identificación de las competencias o capacidades internas y las buenas y malas prácticas (etapas 3 y 4) se realizó mediante la utilización de una técnica de jerarquización temática, la cual busca realizar “una mirada interna de la organización, capturando las potencialidades y competencias internas existentes, por medio de un proceso que permita extraerlas directamente desde las bases de la organización, es decir, sus propios asociados (ibíd., 9)”. La aplicación de esta técnica estuvo determinada por las características propias de cada grupo. Vale destacar que los grupos femeninos fueron más anuentes a la utilización de esta herramienta, mientras que en los grupos masculinos, más verticales y jerárquicos, la misma se aplicó con modificaciones.

## Modelos organizacionales adecuados a cada grupo de productores

Aunque en ninguno de los grupos visitados se había constituido un modelo organizacional claramente definido, sí estaban los conocimientos y capacidades por parte de sus integrantes que, de sistematizarse, podrían utilizarse como insumos para definir un modelo organizacional que cuente con elementos básicos

para su sostenibilidad. Esto se logró en tres de los cuatro grupos mediante la realización de un taller participativo.

Como ya se indicó anteriormente, se aplicaron las mismas herramientas en todos los grupos, con procesos y modalidades diferentes debido a las condiciones propias de cada uno. Factores tales como la experiencia organizacional previa, tanto con el proyecto como con otros anteriores; la composición de género del grupo y el tipo de producto o cultivo influyeron en los resultados obtenidos. Dado que no será posible discutir el proceso en todos los grupos debido a las limitaciones de espacio, se abordará solamente el caso de PRODEAGRO, por ser el que exhibe las condiciones más favorables en materia de asociatividad.

## Constitución de PRODEAGRO como una asociación productiva

Es oportuno indicar que la constitución de PRODEAGRO resultó del apoyo legal que el proyecto brindó a sus beneficiarios. Esta asociación se dedica a la siembra de tomate en condiciones de agricultura protegida y la construcción de capacidades se ha dado a lo largo de cinco años, con apoyos anteriores del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. No significa esto que la intervención del proyecto tenga poco mérito; al contrario, se constata que el desarrollo organizacional de asociaciones agrícolas es un proceso de largo plazo, cuyos impactos son difícilmente cuantificables pero sí acumulativos. Vale resaltar que, a diferencia del resto de los grupos visitados, en este grupo ya había una visión productiva basada en un proceso cooperativista. Su visión original, de hecho, era establecer una cooperativa de producción



### Cuadro 3. Visión y misión de la Asociación PRODEAGRO

#### Visión de la empresa

Somos la Asociación de Productividad y Desarrollo Agrícola Sostenible (PRODEAGRO), que produce y comercializa productos agropecuarios, embutidos y artesanías con alto valor agregado y que genera fuentes de trabajo.

#### Misión de la empresa

Nos capacitamos constantemente en diferentes temas (producción, comercialización, administración y relaciones humanas) y los ponemos en práctica para desarrollar nuestra cooperativa.

agropecuaria, que incluso ya tenía un nombre: Cooperativa Integral de Servicios Agrícolas, R.L.

### Visión y misión de PRODEAGRO

De acuerdo a la metodología descrita más arriba, la primera etapa consiste en definir la visión y la misión de la asociación, para lo cual se realiza una lluvia de ideas y los aportes se van sistematizando por parte de un facilitador. En algunos casos, esto puede resultar complejo, pues los participantes no tienen, necesariamente una expectativa a futuro de la asociación o, como suele verificarse, las expectativas carecen de un sustrato colectivo; son más bien expectativas individuales. En el caso de PRODEAGRO, empero, se constató que todos los participantes compartían referentes para esbozar tanto una visión y como una misión. Cuando había elementos divergentes, estos se consensuaron mediante el diálogo y el consenso. Como resultado, se presenta en el Cuadro 3 la misión y la visión de PRODEAGRO.

### El modelo organizacional de PRODEAGRO

A partir del consenso de la visión y la misión, se pasó a la segunda etapa, que consistió en definir la estructura organizacional. Tampoco hubo dificultades pues este grupo, a lo largo de los años, ha ido formándose una idea del proyecto asociativo que desea.<sup>4</sup> Hubo ciertamente elementos divergentes, pero los mismos no constituyeron un obstáculo para definir los componentes organizacionales. A partir de la herramienta para definir la estructura organizacional y sus componentes, el grupo formuló, de manera participativa, una estructura organizacional que cumple con los tres niveles básicos (estratégico, táctico y operativo), sus componentes respectivos y con diversas orientaciones productivas que no riñen con sus competencias actuales. Si bien la producción agrícola sigue siendo la actividad principal de este grupo, también se contemplan actividades pecuarias y artesanales de valor agregado mediante el

procesamiento de alimentos (mermeladas, tomates deshidratados, entre otros).

A partir de la estructura organizacional que los participantes definieron para su futura asociación, es oportuno hacer dos apreciaciones. La primera, el grupo sí realiza actividades propias de los niveles organizacionales básicos; no obstante, las actividades no están formalizadas ni estructuradas en un marco organizacional coherente. La segunda apreciación se refiere a un rasgo que también se detectó en los otros grupos: hay personas que desempeñan más de un cargo o realizan actividades que corresponden a diversos cargos en los tres niveles. El representante de PRODEAGRO, por ejemplo, se desempeña como presidente de la asociación, un cargo propio del nivel estratégico, pero además realiza trabajos tanto de supervisión como de producción, propios de las esferas táctica y operativa. Aunque este rasgo no es negativo en sí mismo, pues supone un desarrollo asociativo incipiente; es oportuno favorecer una mayor especialización de funciones en la asociación que propicien su desarrollo institucional orientado a la sostenibilidad (Figura 2).

Durante esta etapa, el grupo tuvo una discusión sumamente constructiva en la que hubo participación tanto de hombres como de mujeres. El tema básico fue sobre qué tan amplia tenía que ser la gama de bienes a producir y comercializar por la asociación. Mediante la discusión que se tuvo, tanto en el taller participativo como en la actividad de validación, el consenso que se alcanzó consistió en definir tres grandes áreas productivas para la asociación: a) productos agrícolas y pecuarios; b) productos artesanales y c) embutidos. Por productos artesanales, el grupo concibe alimentos procesados y envasados artesanalmente, como mermeladas.

El siguiente punto de esta fase consistió en definir cargos, jerarquía, responsabilidades e incentivos para la asociación, en coherencia con los niveles organizacionales básicos. Al inicio se consideró que tal actividad sería compleja, pues partía de

<sup>4</sup>Es oportuno indicar que en los dos grupos de mujeres tampoco se registró ninguna dificultad para definir una estructura organizacional. Resalta el hecho que ambos grupos eran de consolidación reciente, en el marco del proyecto, lo cual lleva a sugerir, para futuras investigaciones, que las agrupaciones de mujeres pueden tener mucho potencial para el emprendimiento y, principalmente, la asociatividad. El acompañamiento externo, empero, sigue siendo una condición esencial para sentar las bases de su sostenibilidad.

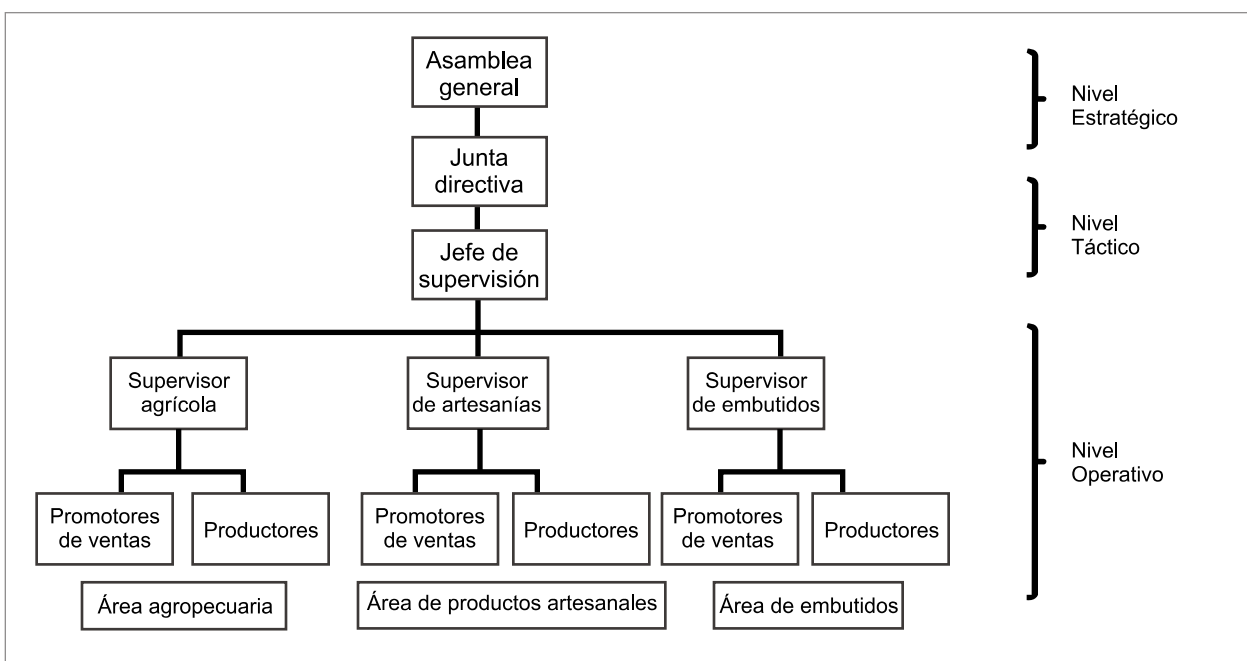


Figura 2. Estructura organizacional validada por el grupo de Ciénaga Grande

supuestos que consistían en que los participantes sabrían qué debe hacerse en la asociación, cómo hacerlo y qué responsabilidades son necesarias para tal fin. Lo anterior suponía conocimiento empírico de parte de los participantes, el cual se tiene, y que sólo se formalizó y estructuró mediante las herramientas metodológicas que se adecuaron y validaron. El resultado fue un modelo organizacional viable, que se estructuró

participativamente a partir de los conocimientos y las experiencias productivas de la población beneficiaria (Cuadro 4).

### Las capacidades internas de PRODEAGRO

En capacidades internas se reconoció que la asociación ha consolidado sus capacidades de índole productiva, propia del

Cuadro 4. Cargos, responsabilidades e incentivos de la Asociación PRODEAGRO

| Nivel       | Cargo                 | Reporta a:         | Responsabilidades                                                                                                                                                                                                                                                                      | Incentivos o ganancias                                                                                                                                                           |
|-------------|-----------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estratégico | Asamblea general      |                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Promueve, planifica y calendarizar reuniones.</li> <li>- Corrige y sanciona trabajos de producción y ventas.</li> </ul>                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para los miembros en pleno derecho habrá distribución de ganancias.</li> <li>- Para los trabajadores, se otorgarán salarios.</li> </ul> |
| Táctico     | Junta directiva       | Asamblea general   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elabora y rinde informes para la asamblea general.</li> <li>- Coordina a los supervisores.</li> <li>- Recaba información de producción y ventas.</li> </ul>                                                                                   |                                                                                                                                                                                  |
|             | Supervisor general /a | Junta directiva    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rinde informes de producción y ventas a la junta directiva.</li> <li>- Lleva controles de producción y ventas de acuerdo a los productos.</li> <li>- Supervisa áreas de cultivo y producción.</li> <li>- Supervisa área de ventas.</li> </ul> |                                                                                                                                                                                  |
| Operativo   | Promotores de ventas  | Supervisor general | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lleva muestra de los productos.</li> <li>- Hace mercadeo y busca clientes.</li> <li>- Promociona el producto.</li> <li>- Incentiva al productor.</li> </ul>                                                                                   |                                                                                                                                                                                  |
|             | Productores           | Supervisor general | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrega producto de calidad y a tiempo.</li> <li>- Entrega producto cabal.</li> <li>- Es responsable.</li> <li>- Es leal a la PRODEAGRO.</li> </ul>                                                                                           |                                                                                                                                                                                  |

**Cuadro 5.** Tipología de validación en los grupos visitados

| Tipo de validación                                                                               | Grupo                                                                              | Características                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sin mayor cuestionamiento o retroalimentación de los modelos organizacionales propuestos         | Mujeres organizadas para la producción de embutidos, San Juan Argueta Sololá       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Participación atenta, aunque con escasas reacciones, críticas o modificaciones sugeridas al modelo organizacional presentado.</li> <li>- Aspectos ajenos a la validación que abordaron:</li> <li>- Solicitud de más capacitación en área administrativa y financiera.</li> <li>- Recordatorio de capacitaciones ofrecidas en producción de salchichas y jamones.</li> <li>- Quejas respecto a la entrega ofrecida, pero aún no concretada, de suministros.</li> </ul>        |
| Participación activa y retroalimentación constructiva de los modelos organizacionales propuestos | Grupo de productores de tomate, Génaga Grande, Santa Lucía Utatlán                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Participación activa del grupo aunque concentrada en pocas personas, de ambos sexos, cuyas intervenciones fueron constructivas o para aclarar dudas. Modificaciones sugeridas e implementadas después de la validación:</li> <li>- Se definieron tres sectores productivos de la asociación (productos agropecuarios, productos alimenticios artesanales y embutidos).</li> <li>- Se introdujo un cargo de supervisión menos complejo al originalmente concebido.</li> </ul> |
|                                                                                                  | Mujeres organizadas para la panificación y la pastelería, El Jardín, Santa Bárbara | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Participación activa del grupo orientada a concretas elementos de la estructura. Modificaciones sugeridas e implementadas después de la validación: Modificaciones a la estructura, en cuanto se suprimieron las figuras de junta directiva y promotoras de ventas y en su lugar se adoptaron términos más sencillos pero comprensibles a las beneficiarias, como “grupo de señoras” y “vendedoras”.</li> </ul>                                                              |
| Validación fallida del modelo organizacional propuesto                                           | Grupo de productores de chile, Zona y Miramar, Santa Bárbara Suchitepéquez         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- El grupo tuvo una participación limitada, en la que sólo el presidente y el vicepresidente de la futura asociación tomaron la palabra.</li> <li>- Se condicionó la discusión del diseño organizacional hasta que se disponga de las escrituras de la asociación.</li> <li>- Cualquier modelo que se presente podría modificarse en el futuro de acuerdo al cultivo que se tenga, condiciones de mercado o adhesión de nuevos miembros.</li> </ul>                            |

nivel operativo. No obstante, en el resto de niveles, sigue habiendo vacíos de carácter administrativo y comercializador. La apreciación del autor de este artículo fue que los beneficiarios, gracias al proyecto, han ido desarrollando satisfactoriamente capacidades productivas en sus áreas respectivas; no obstante, las áreas de comercialización y valor agregado, administración, gestión de la asociación y manejo financiero han quedado rezagadas, y podrían inhibir a futuro el desarrollo organizacional de las iniciativas de producción.

### Validación de los modelos organizacionales

En los últimos años se ha vuelto común replicar experiencias exitosas en lugares cuyas condiciones son diferentes. Topografía, clima, tipo de producto, grupo étnico, nivel educativo, género, idioma, por ejemplo, son sólo algunas de una lista más extensa de variables que pueden incidir negativamente en la ejecución de la experiencia que busca replicarse. Aunque las experiencias

exitosas pueden ser una importante fuente de conocimiento y constituirse en estrategias con potencial de aplicarse en otros contextos, debe tenerse en cuenta que éstas deben contextualizarse y validarse en los grupos de personas que podrían beneficiarse con ellas. La contextualización se considera esencial en cuanto persigue articular las prácticas de otros contextos con los conocimientos y las prácticas locales de los potenciales beneficiarios, en el marco de un proceso participativo. Como se ha sostenido a lo largo de este artículo: impulsar un proceso de organización para la producción, a partir de conocimientos y prácticas cotidianas, tradicionales y ancestrales de los beneficiarios, puede coadyuvar a la sostenibilidad de la iniciativa.

La validación fue el tercer y último componente de este trabajo, en la que se visitó nuevamente a los beneficiarios, para validar participativamente los modelos organizacionales y las herramientas metodológicas utilizadas en su definición. Estas últimas se validaron sin cambios importantes por parte de los grupos



**Figura 3.** Validación del modelo organizacional con beneficiarios de PRODEAGRO

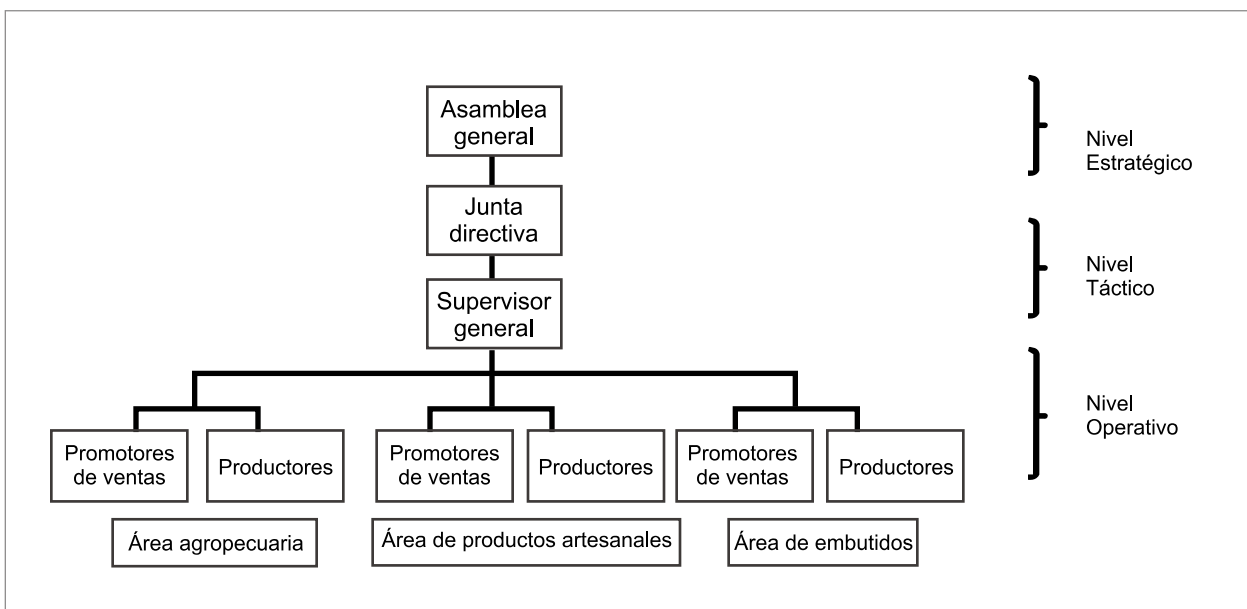
beneficiarios, a excepción del grupo de campesinos organizados para cultivar chile en Zona y Miramar.<sup>5</sup> En los modelos organizacionales, empero, cada grupo realizó cambios importantes en lo que atañe a la estructura organizacional y al nombre de las unidades.<sup>6</sup> Cada grupo reaccionó de forma diferente a la validación de los modelos. En función de estas diferencias, se elaboró una tipología de validación en los grupos visitados, la cual se presenta en el Cuadro 5. En cada grupo, el facilitador proveyó a los participantes material impreso de los componentes del modelo organizacional, para que los mismos pudieran manipularse, y escribir en ellos si fuera necesario, para formular recomendaciones u observaciones que contribuyeran

a un modelo más adecuado a sus conocimientos, experiencias y necesidades. En la fotografía que se presenta puede verse cómo el facilitador discute y realiza las modificaciones sugeridas por el grupo de PRODEAGRO (Figura 3).

### La validación del modelo organizacional de PRODEAGRO

Consistió ésta en presentarle a las beneficiarias los componentes del modelo organizacional elaborado a partir de: a) sus experiencias y conocimientos, b) la participación en el taller y c) las herramientas del taller participativo. Es oportuno indicar que en todas las visitas de validación se hizo ver a los participantes que este modelo era resultado de haber articulado sus conocimientos, experiencias y expectativas de producción, venta y organización mediante el uso de las herramientas metodológicas que se utilizaron en este proceso. A continuación se da cuenta de cada uno de los cambios propuestos por los miembros de la futura asociación.

En lo que concierne a la visión y misión de la asociación, en la primera sólo se cambió su nombre, mientras que la segunda se mantuvo sin cambios.<sup>7</sup> Los beneficiarios consideraron que el contenido de la misión que se formuló originalmente contiene sus metas y expectativas a futuro. En la estructura original se había acordado que para cada unidad productiva (agropecuaria, productores artesanales y embutidos) de la asociación hubiera un supervisor; es decir, tres supervisores de área y un jefe de supervisión. Después de discutir la viabilidad económica y técnica de estas figuras, se decidió suprimir la figura de supervisor de área y, en su lugar, dejar un supervisor general, que se encargue de las tres áreas. Los cambios pueden apreciarse en la Figura 4.



**Figura 4.** Estructura organizacional de la asociación PRODEAGRO validada por el grupo de Ciénaga Grande

<sup>5</sup>Los agricultores que forman el grupo de Zona y Miramar condicionaron su participación en la validación hasta que reciban las escrituras legales de su asociación. De los grupos visitados, se caracteriza por ser el más incipiente y el que mayor esfuerzo supuso en materia de construcción de capacidades.

<sup>6</sup>Lo anterior supone que los grupos superaron la pasividad, que suele ser una característica de los grupos que participan en proyectos de desarrollo. Supone además la adquisición de cierto nivel de empoderamiento para abordar cuestiones que atañen directamente a sus proyectos asociativos y, si lo estiman oportuno, modificarlos.



## Factores que favorecen o inhiben la sostenibilidad del componente asociativo del proyecto

La intervención que se realizó en el marco de este trabajo tuvo como fines diseñar y validar participativamente un modelo organizacional susceptible de implementarse por parte de los grupos de beneficiarios seleccionados del proyecto. Su implementación correrá a cuenta de los propios grupos, dado que el proyecto finalizará en breve. Es difícil determinar los derroteros de cada grupo en adelante; la consolidación, fracaso o no implementación del modelo son escenarios plausibles sin el apoyo de una entidad de acompañamiento. La experiencia con este proyecto sugiere que, en futuras iniciativas, el componente asociativo debe implementarse desde el inicio, pues es un factor prioritario en la sostenibilidad de las asociaciones productivas.

En el caso de PRODEAGRO se tiene que la visión asociativa que se sistematizó y racionalizó con esta intervención se ha venido consolidando en los últimos años, como resultado de apoyos brindados anteriormente por parte de otras instituciones. Por su madurez, este grupo cuenta ya con competencias para implementar el modelo organizacional. El grupo de mujeres productoras de embutidos en San Juan Argueta también podría llegar a consolidarse; aunque el grupo se organizó en el marco del proyecto, el emprendimiento de las beneficiarias podría favorecer la consolidación de su proyecto organizativo, aunque enfrentando desafíos en lo que concierne a conocimientos sobre comercialización y organización. Las mujeres organizadas para la panificación y repostería de El Jardín podrían optar por un emprendimiento individual cuando su participación en el proyecto termine, como lo manifestaron en la actividad de validación. Por último, el caso de agricultores en Zona y Miramar, debe verse como una iniciativa aún en ciernes, muy incipiente, que aún requerirá a futuro acompañamiento en todas las áreas de una ECA.

A criterio del autor de este artículo, el cambio más notorio y favorable, en el componente de asociatividad, fue que el proyecto inició con 21 grupos de personas interesadas en aprender a producir y comercializar productos varios, con un bajo nivel de asociación e integración en algunos casos, y que está terminando su intervención con seis asociaciones legalmente establecidas. En lo que concierne a la construcción de capacidades, es innegable que algunos integrantes ya las tenían parcialmente desarrolladas para producir y comercializar, pero la falta de racionalización de las mismas, la carencia de condiciones de higiene, activos, tecnologías e insumos para la producción hacían inviable cualquier esfuerzo coordinado y orientado a la producción y generación de ingresos mediante la venta de bienes en mercados adyacentes a los lugares de residencia, o

incluso más lejanos. Algunos grupos ya existían antes de las intervenciones del proyecto; sin embargo, las capacitaciones y la dotación de activos e insumos para la producción grupal favorecieron la consolidación de capital social entre ellas, sin obviar el hecho que en algunos casos hubo o sigue habiendo fricciones entre los miembros.

Los grupos con los que se trabajó muestran que, en virtud del proyecto, lograron racionalizar sus capacidades de producción y comercialización, lo cual incidió en un incremento de ingresos. También se avanzó en la asociatividad de los grupos, el cual, a partir del establecimiento de una asociación legalmente constituida, podría fortalecerse. Los riesgos para la viabilidad y la sostenibilidad de estas asociaciones se hallan, en que las mismas ya no contarán con apoyo en esta siguiente etapa, en la que se demandará principalmente la construcción de capacidades administrativas, comercializadoras y financieras, propias de los niveles táctico y estratégico de la estructura organizacional.

A partir de las capacidades de producción que se construyeron o fortalecieron en el marco del proyecto, las personas beneficiadas han estado produciendo bienes que están comercializando principalmente en sus comunidades y, en menor medida, en mercados de mayor tamaño, como los propios de cabeceras municipales y departamentales, o en ferias de emprendimiento. El resultado ha sido que los beneficiarios, cada uno a su manera, han ido ampliando su espectro de emprendimiento hacia la comercialización de sus productos.

El establecimiento de asociaciones legalmente constituidas es un alcance positivo que conlleva una serie de desafíos. Las experiencias en otros países demuestran que las asociaciones productivas tienen más posibilidades de mantenerse y ser sostenibles si se hace hincapié, desde las primeras etapas de la intervención, en el componente organizacional. Los componentes productivo, comercial y organizacional deben impulsarse de una forma paralela y equilibrada, para que en el futuro las capacidades construidas o fortalecidas no se concentren en uno solo de los componentes. En los casos visitados, se tiene que dos de los cuatro grupos de productores agrícolas o agroindustriales han constituido asociaciones productivas, lo cual supone un nuevo punto de partida que se basa en hacer de tales asociaciones empresas sostenibles y viables en el futuro, en un mercado notablemente asimétrico y un orden jurídico que entraña fuertes desafíos e incluso inhibiciones al emprendimiento, la competitividad y la formalización del negocio que se ha iniciado.<sup>8</sup> El proyecto ya no estará allí para acompañar a las asociaciones cuyo establecimiento propició, lo que anticipa riesgos para la continuidad y sostenibilidad de las mismas.

<sup>7</sup>Originalmente, el grupo planificó fundar una cooperativa, cuyo nombre tentativo sería: Cooperativa Integral Guatemalteca de Servicios Agrícolas, CIGSA, R.L.

<sup>8</sup>En uno de los grupos visitados en la Costa Sur, se constató que la principal resistencia de las mujeres para impulsar una asociación productiva era el temor a emitir facturas. De acuerdo a ellas, el mercado al cual le vendían no las solicitaba, por lo que consideran un esfuerzo innecesario iniciar los trámites de formalización, tanto legales como tributarios.

## Conclusión y recomendaciones

El balance de la intervención en materia de asociatividad es positivo. Se logró que tres de los cuatro grupos definieran participativamente un modelo organizacional coherente con sus conocimientos y capacidades y que el mismo vaya evolucionando. La asociatividad, debidamente aplicada mediante estrategias de diseño participativo de modelos organizacionales y su consecuente validación, tiene el potencial de convertirse en un factor de creación de capital social y reforzamiento de identidad colectiva, esenciales para el desarrollo organizacional. Aunque en todo grupo hay una dotación de capital social, el mismo puede no ser suficiente para mantener unidas a las personas en la consecución de un objetivo común. En los grupos visitados se notaron fricciones que podrían conducir a la desintegración del grupo, o al retiro de algunos de sus miembros, que probablemente utilizarán las capacidades adquiridas para concretar sus visiones de emprendimiento de manera individual.

Los proyectos que buscan implementar un componente asociativo persiguen como meta establecer asociaciones productivas viables y sostenibles en el tiempo. Al cierre del proyecto, puede afirmarse que algunos de estos grupos cuentan con un diseño organizacional y una asociación legalmente establecida que, de consolidarse, podría redundar en un mayor bienestar para los beneficiarios, sus familias y su entorno inmediato. No es posible en este momento afirmar que todos los grupos serán exitosos en sus actividades productivas y comerciales. Se requerirán estudios ulteriores para evaluar el impacto del proyecto en lo que a emprendimiento y asociatividad se refiere. Es innegable, empero, que se crearon condiciones positivas para el desarrollo de iniciativas emprendedoras en marcos asociativos.

### Como recomendaciones, vale considerar las siguientes:

1. Promover la formación de estructuras organizacionales en los tres niveles básicos (estratégico, táctico y operativa) para propiciar la viabilidad y sostenibilidad institucional de las asociaciones productivas.
2. A medida que se consolide una estructura organizacional básica, como resultado de la adquisición y aplicación de competencias administrativas, será oportuno continuar impulsando otros componentes del modelo, tales como control, mejoramiento y evaluación de desempeño; identificación del sector competitivo; captura de antecedentes sectoriales; identificación de factores críticos y definición de unidades de negocios y líneas de productos.
3. Coordinar con otras organizaciones de desarrollo que operen en el área del proyecto apoyo para que continúen con el proceso de acompañamiento y fortalecimiento institucional de las asociaciones ya establecidas legalmente, dado que las mismas corren el riesgo de no consolidarse al carecer de seguimiento. Algunas podrían ser sostenibles, como PRODEAGRO (Ciénaga Grande), pero otras corren el riesgo de fragmentación precoz si no tienen el debido seguimiento por el resoltado individualismo de sus integrantes (San Juan Argueta), el cese de los compromisos formalmente contraídos

con el proyecto, individualismo y renuencia a la formalización (El Jardín) o la falta de capacidades y experiencia para mantener el proyecto asociativo (Zona y Miramar).

4. Las capacitaciones futuras en las asociaciones deben orientarse hacia temas de comercialización, administración y gestión para propiciar condiciones de sostenibilidad.
5. Las capacitaciones de producción de alimentos deben mantenerse y diversificarse de acuerdo a las capacidades productivas previamente desarrolladas y los intereses de los grupos y asociaciones beneficiados. Debe tenerse en cuenta que en la dimensión productiva reside el potencial emprendedor de los grupos, lo cual no sugiere que capacitaciones en otros temas deban obviarse.

## Bibliografía

- Berdegúe J [en línea] *Cooperando para competir: Desarrollo institucional y desempeño económico en Empresas Asociativas Campesinas en Chile* [<http://www.rimisp.org/getdoc.php?docid=894>] Última visita: 28 de septiembre de 2012
- Briggs J (2008) *Indigenous knowledge and development* En: V Desai & R B Potter (Eds) *The companion to development studies* Hodder Education London, England, pp. 107-110
- República de Chile. Fundación para la innovación agraria (2010) *Resultados y lecciones en organización de empresas asociativas campesinas. Proyecto de innovación en IX Región de la Araucanía*. Chile: Ministerio de Agricultura, pp. 1-40
- República de Chile. Fundación para la Innovación Agraria – Centro de Gestión de la Araucanía (2007) *Propuesta e informe final del proyecto precursor "Desarrollo de un modelo de gestión organizacional que facilite el aumento de la productividad y rentabilidad en la empresa asociativa campesina Chile"*. Ministerio de Agricultura

## Revista de la Universidad del Valle de Guatemala



### Información general

El objetivo de la Revista de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) es el de divulgar los hallazgos de estudios realizados dentro de la actividad académica, entre los que se encuentran opiniones, resultados de investigación, ensayos y revisiones sobre temas específicos.

1. La revista considera para publicación:
  - 1.1 Artículos con los resultados de proyectos de investigación que se hayan llevado a cabo, en la Universidad del Valle de Guatemala, o en asociación con ésta.
  - 1.2 Artículos invitados solicitados directamente al autor por el Editor o el Comité Editorial, uno por número de Revista editada.
  - 1.3 Artículos de síntesis y opinión que unifiquen e interpreten el avance del conocimiento en un tema, uno por número de Revista editada.
  - 1.4 Ensayos y trabajos de crítica y creaciones literarias.
  - 1.5 Resúmenes y acotaciones sobre conferencias, seminarios, talleres, foros y coloquios desarrollados en la Universidad del Valle de Guatemala.
  - 1.6 Reseñas de tesis seleccionadas.
  - 1.7 Comentarios sobre libros recibidos en Biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala.
2. Las colaboraciones para la revista deben entregarse al Editor o al Asistente del Editor
3. El Comité editorial en pleno decidirá sobre la aceptación de las colaboraciones recibidas y tomará las acciones que correspondan
4. Las colaboraciones catalogadas en los incisos 1.4 al 1.7 serán revisadas en su redacción del texto
5. Los artículos se aceptarán bajo el entendido de que el autor no los publicará simultáneamente en otro medio de divulgación
6. Una copia de la colaboración debe enviarse en forma electrónica, en la fecha estipulada, siguiendo la guía específica para la elaboración del artículo.

### Guía para la elaboración de las contribuciones

**Primero.** El Consejo Editorial convocará a la familia universitaria a elaborar un resumen del artículo propuesto, para su posible publicación, cuyo contenido deberá incluir: i) título, ii) autor principal y coautores, iii) nombre del centro/laboratorio/departamento/facultad y/o instituto, iv) objetivo (3 líneas máximo), v) métodos y resultados (10 líneas máximo) y vi) relevancia e impacto del estudio (5 líneas máximo).

**Segundo.** Los artículos de investigación deben dividirse en las secciones siguientes: a) *resumen*, en 250 palabras como un máximo y debe indicar el problema de la investigación, la manera en que fue resuelto y las conclusiones principales, agregar palabras clave (5 como un máximo); b) *abstract*, el título, el resumen y las palabras clave, en idioma inglés, c) *introducción*, no más de tres páginas, la cual debe resumir la problemática actual y el avance del conocimiento en el tema de la investigación; d) *materiales y métodos*, lugar en el que debe describirse en detalle la metodología experimental que se ha utilizado, incluyendo, la descripción de materiales y métodos analíticos, los diseños de experimentos empleados, y las herramientas matemáticas de análisis de los datos o de la información generada; e) *resultados*, que describe en cuadros y gráficas, usadas con recato y sin duplicidad, la información generada en los experimentos; f) *discusión de resultados y conclusiones*, en la que debe incluirse no sólo aspectos comparativos y de justificación, sino que el desarrollo de un razonamiento que conlleve a especulaciones y conjeturas; g) *bibliografía*, la cual lista las referencias citadas en el texto, de la manera que más adelante se detalla, h) *agradecimientos*, a criterio del autor, e i) *adjuntar foto* en formato .jpg. Cada sección debe identificarse con números cardinales y la misma puede subdividirse empleando la norma ilustrada en esta guía.

**Tercero.** Las colaboraciones para la revista deben enviarse al Editor o al Asistente del Editor siguiendo los siguientes lineamientos: **texto** en Word, **tipo de letra:** Arial 10, a **espacio** de 1.5 líneas; **longitud máxima del artículo** (incluyendo cuadros, gráficas y bibliografía): 20 páginas. Los cuadros y las gráficas deben presentarse al final del texto en el orden en que fueron citadas en el mismo. No se aceptan cuadros y gráficas que no aparezcan citadas en el texto. Se solicita que éstas no sean elaboradas en Excel, se sugiere utilizar otro logicial. Los cuadros y gráficas deben numerarse correlativamente según aparezcan en el texto empleando números cardinales. Las fotografías deben identificarse como gráficas. Adjuntar fotografías, gráficas, figuras, etc., por separado en formato .jpg en alta resolución 300 dpi para arriba y tamaño 6 x 4" mínimo. Las mismas pueden estar dentro del documento de Word para la visualización, pero se necesitan que estén en una carpeta por separado con las especificaciones ya mencionadas. El término tabla puede emplearse en lugar de cuadro, pero no deben mezclarse. No es permitido usar el término figura en substitución de gráfica. Las gráficas pueden subdividirse, y para ello debe emplearse la nomenclatura en la forma siguiente: Gráfica 6a, Gráfica 6b, etc. Es necesario describir el contenido de las gráficas y cuadros, como título. Las referencias citadas en el texto: se aceptan diferentes estilos de los varios utilizados en las revistas de corriente principal o en el área temática del artículo. Para los autores que utilicen EndNote una vez finalizado el artículo deberán grabarlo utilizando "remove field codes". Pueden incluirse en el texto, notas al pie de página; éstas deben identificarse con letras minúsculas en superíndice en la misma página y/o listarse en orden al final del artículo. Las direcciones de correo o sitios web que se mencionen dentro del texto deben de colocarlos sin hipervínculos.

**Y, cuarto.** Los artículos de opinión, los artículos de revisión, los ensayos y las reseñas de tesis, deberán seguir los mismos lineamientos teniendo una longitud máxima de 15 páginas.