

Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía

*Handbook T-I*

**PÉREZ-SOTO, Francisco**  
**FIGUEROA-HERNÁNDEZ, Esther**  
**GARCÍA-NÚÑEZ, Rosa María**  
**GODÍNEZ-MONTOYA, Lucila**

*Directores*

# Genética y fertilización en la producción agrícola

**ECORFAN®**

---

# Volumen I

---

Para futuros volúmenes:  
<http://www.ecorfan.org/handbooks/>

## **ECORFAN Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía**

---

El Handbook ofrecerá los volúmenes de contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica de la Universidad Autónoma Chapingo en su área de investigación en Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Además de tener una evaluación total, en las manos de los directores de la Universidad Autónoma Chapingo se colabora con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (RENIECYT- LATINDEX- UNIVERSIA- DIALNET- ResearchGate- DOI- REBID- ScholarGoogle- DULCINEA CLASE- Sudoc- HISPANA- SHERPA- eREVISTAS- Mendeley), el Handbook propone así a la comunidad académica, los informes recientes sobre los nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de investigación en Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía.

**Pérez-Soto, Francisco · Figueroa-Hernández, Esther · García-Núñez, Rosa María · Godínez-Montoya, Lucila**

Editores

# **Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía**

Universidad Autónoma Chapingo. Julio, 2017.

# ECORFAN®

## *Editores*

Pérez-Soto, Francisco  
Figueroa-Hernández, Esther  
García-Núñez, Rosa María  
Godínez-Montoya, Lucila

Universidad Autónoma Chapingo

ISBN-978-607-8324-35-7  
Sello Editorial ECORFAN: 607-8324  
Número de Control HCBAE: 2017-01  
Clasificación HCBAE (2017): 210717-0104

## **©ECORFAN-México, S.C.**

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley Federal de Derechos de Autor ,podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos ,de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Para los efectos de los artículos 13, 162,163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169,209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Violaciones: Ser obligado al procesamiento bajo ley de copyright mexicana. El uso de nombres descriptivos generales, de nombres registrados, de marcas registradas, en esta publicación no implican, uniformemente en ausencia de una declaración específica, que tales nombres son exentos del protector relevante en leyes y regulaciones de México y por lo tanto libre para el uso general de la comunidad científica internacional. HCBAE es parte de los medios de ECORFAN ([www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org))

## Prefacio

Una de las líneas estratégicas de la misión y visión universitaria ha sido la de impulsar una política de ciencia, tecnología e innovación que contribuya al crecimiento económico, a la competitividad, al desarrollo sustentable y al bienestar de la población, así como impulsar una mayor divulgación en beneficio del índice de desarrollo humano, a través de distintos medios y espacios, así como la consolidación de redes de innovación de la investigación, ciencia y tecnología en México.

La Universidad Autónoma Chapingo visualiza la necesidad de promover el proceso de la investigación, proporcionando un espacio de discusión y análisis de los trabajos realizados fomentado el conocimiento entre ellos y la formación y consolidación de redes que permitan una labor investigativa más eficaz y un incremento sustancial en la difusión de los nuevos conocimientos. Este volumen I contiene 10 capítulos arbitrados que se ocupan de estos asuntos en Tópicos Selectos de Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía, elegidos de entre las contribuciones, reunimos algunos investigadores y estudiantes de posgrado, a partir de cuatro estados de México.

*Sánchez, Hinojosa y García* abren la obra con La cuenca baja del río Tamazula, Sin., gestión integrada de sus recursos hidroagrícolas y forestales. *Tapia & Flores* estudian la silvicultura comunitaria y su aporte a la enseñanza. *Carrillo* analiza la germinación de semilla de *Hibiscus sabdariffa* L. es inhibida específica y contundentemente por una cepa de *Pseudomonas fluorescense* (PGPR).

*Gómez & Fernández* determinan los esfuerzos máximos y de cedencia del polialuminio. *Senties, Trejo, Gómez, Cadena, Sánchez y Volke* estudian los elementos benéficos en la hibridación de caña de azúcar (*Saccharum* spp.): Efectos en la fisiología del progenitor masculino durante el cruzamiento. *Del Rosario, Meneses, Andrés, Rosas, Becerra, Leyva, Vázquez, Galindo, Cebada y Núñez* realizan una caracterización morfo-agronómica de accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

*Ríos, Torres y Torres* revisan la productividad agrícola del agua en nogal pecanero (*Carya illinoensis* [Wangenh] K. Koch) producido en el municipio de San Pedro, Coahuila. *González, Carrillo, Acosta y Báez* realizan la evaluación del modelo RothC-26.3 a nivel de parcela en México. *Apáez, Escalante, Rodríguez y Apáez* analizan la producción de garbanzo en función del Nitrógeno en ambientes contrastantes. *Castellanos, Cervantes y López* finalizan la obra con DRON polinizador de cultivos. Detección de flores con algoritmos de visión artificial.

Quisiéramos agradecer a los revisores anónimos por sus informes y muchos otros que contribuyeron enormemente para la publicación en éstos procedimientos repasando los manuscritos que fueron sometidos. Finalmente, deseamos expresar nuestra gratitud a la Universidad Autónoma Chapingo en el proceso de preparar esta edición del volumen.

Texcoco de Mora, México. Julio, 2017

*PÉREZ-SOTO, Francisco*  
*FIGUEROA-HERNÁNDEZ, Esther*  
*GARCÍA-NÚÑEZ, Rosa María*  
*GODÍNEZ-MONTOYA, Lucila*

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<p><b>1 La cuenca baja del río Tamazula, Sin., gestión integrada de sus recursos hidroagrícolas y forestales</b>  SÁNCHEZ-VÉLEZ, Alejandro S., HINOJOSA-GUZMÁN, Marco Daniel y GARCÍA-NÚÑEZ, Rosa María</p>	1-15
<p><b>2 La silvicultura comunitaria y su aporte a la enseñanza</b>  TAPIA-AURELIO, Bastida &amp; FLORES-ESCOBAR, Georgina</p>	16-28
<p><b>3 La germinación de semilla de <i>Hibiscus sabdariffa</i> L. es inhibida específica y contundentemente por una cepa de <i>Pseudomonas fluorescente</i> (PGPR)</b>  CARRILLO-CASTAÑEDA, Guillermo</p>	29-40
<p><b>4 Determinación de los esfuerzos máximos y de cedencia del polialuminio</b>  GÓMEZ-ÁGUILA, María Victoria &amp; FERNÁNDEZ-CHUAIREY, Lucia</p>	41-47
<p><b>5 Elementos benéficos en la hibridación de caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.): Efectos en la fisiología del progenitor masculino durante el cruzamiento</b>  SENTÍES-HERRERA, Héctor Emmanuel, TREJO-TÉLLEZ, Libia Iris, GÓMEZ-MERINO, Fernando Carlos, CADENA-ÍÑIGUEZ, Jorge, SÁNCHEZ-GARCÍA, Prometeo y VOLKE-HALLER, Víctor Hugo</p>	48-59
<p><b>6 Caracterización morfo-agronómica de accesiones de yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)</b>  DEL ROSARIO-ARELLANO, José Luis, MENESES-MÁRQUEZ, Isaac, ANDRÉS-MEZA, Pablo, ROSAS-GONZÁLEZ, Xóchitl, BECERRA-LEOR, Enrique Noé, LEYVA-OVALLE, Otto Raúl, VÁZQUEZ-HERNÁNDEZ, Andrés, GALINDO-TOVAR, María Elena, CEBADA-MERINO, Miguel y NÚÑEZ-PASTRANA, Rosalía</p>	60-72
<p><b>7 Productividad agrícola del agua en nogal pecanero (<i>Carya illinoensis</i> [Wangenh] K. Koch) producido en el municipio de San Pedro, Coahuila</b>  RÍOS-FLORES, José Luis, TORRES-MORENO, Marco Antonio y TORRES-MORENO, Miriam</p>	73-86
<p><b>8 Evaluación del modelo RothC-26.3 a nivel de parcela en México</b>  GONZÁLEZ-MOLINA, Lucila, CARRILLO-ANZURES, Fernando, ACOSTA-MIRELES, Miguel y BÁEZ-PÉREZ, Aurelio</p>	87-98

**9 Producción de garbanzo en función del Nitrógeno en ambientes contrastantes** 99-106

APÁEZ-BARRIOS, Maricela, ESCALANTE-ESTRADA, José Alberto Salvador, RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, María Teresa y APÁEZ-BARRIOS, Patricio

**10 DRON polinizador de cultivos. Detección de flores con algoritmos de visión artificial** 107-121

CASTELLANOS-SERRANO, Luis Tonatiuh, CERVANTES-BAZÁN, Josué Vicente y LÓPEZ-CHIMIL, Humberto

Apéndice A. Consejo Editor ECORFAN 122-124

Apéndice B. Comité Arbitral ECORFAN 125

## **La cuenca baja del río Tamazula, Sin., gestión integrada de sus recursos hidroagrícolas y forestales**

SÁNCHEZ-VÉLEZ, Alejandro S., HINOJOSA-GUZMÁN, Marco Daniel y GARCÍA-NÚÑEZ, Rosa María

A. Sánchez, M. Hinojosa y R. García

División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México - Texcoco Km. 38.5, 56230 Texcoco de Mora, Méx.

cienfuegos9@hotmail.com

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

This work was done in the high basin of the river Tamazula. Contamination of the basin is emerging at the top, however it moves by the runway toward the agricultural valley, the abuse becomes evident in the use of pesticides by some producers in the 010 irrigation district. Water reaches modules from irrigation without any type of pollutant, while these, at the end of each irrigation applied to crops, is sent to the drains as return waters. They carry a large amount of agricultural chemicals which, consequently, pollute nearby water bodies, groundwater and that also generated problems in the coastlines of the State, as well as losses to the coastal shrimp farming. So the diagnosis and the relationship between hydrological environmental services and productive areas of the agricultural valley through the characterization of the basin was done.

## 1 Introducción

Ante la problemática ambiental que prevalece en el mundo existe una gran preocupación por parte de organismos internacionales como; FAO, UNESCO o la OCEDE por alcanzar una gestión integrada de los recursos naturales, específicamente de los recursos hídricos, principalmente de aquellas cuencas que abastecen a importantes y productivos valles agrícolas. Es importante garantizar el abasto, en cantidad y calidad, no solamente para la actividad agropecuaria, sino también, para uso en las comunidades y zonas urbanas.

Como lo menciona FAO (2011) uno de los problemas más apremiantes de nuestro tiempo, es la disponibilidad de agua potable, sumada al acceso a los alimentos. Por ello, la agricultura es un componente dominante de la economía mundial (FAO, 2011).

En muchos países, esta presión ha originado una expansión hacia tierras marginales y normalmente está asociada a la agricultura de subsistencia (FAO, 2011). En otros, la necesidad de alimentos ha llevado a la expansión del riego y a una utilización cada vez mayor de fertilizantes y plaguicidas con el fin de lograr y mantener rendimientos superiores (FAO, 2011).

Murgia *et al* (2014) mencionan que la agricultura sostenible constituye uno de los mayores desafíos. Esta sostenibilidad supone que la agricultura no sólo es capaz de garantizar un suministro sostenido de alimentos, sino que sus efectos ambientales, socioeconómicos y sanitarios se reconocen y contemplan en los planes nacionales de desarrollo (Murguía, Medina, Bray, & Rivera, 2014).

La Sierra Madre Occidental, ubicada al este del Estado de Sinaloa, es en este enorme sistema montañoso y de pendientes donde comienzan a tomar forma los parteaguas de la cuenca del río Tamazulapa gracias a sus diversas altitudes que varían desde los 240 hasta los 3,000 msnm.

Geográficamente, el área de estudio se encuentra en línea recta a tan solo 120 km de las costas del pacífico mexicano y, dado su extensa llanura costera es aquí donde se localiza uno de los valles agrícolas más importantes del país por su productividad, así como su tecnificación hidráulica. El mencionado sistema funciona gracias a que los bosques de las montañas de la sierra son el primer sitio en el que la humedad proveniente del mar toca la tierra y se descarga en forma de lluvia. Son precisamente, los bosques que se encuentran localizados en dichas sierras, los que deberían ser, indudablemente, los principales beneficiarios por los programas gubernamentales en materia de pago por Servicios Ambientales, para garantizar el abasto de agua para los módulos de riego del Distrito 010, aunque dichas políticas, resulten aún innovadoras para México, y representen, de acuerdo con Pedraza (2008), una nueva opción para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

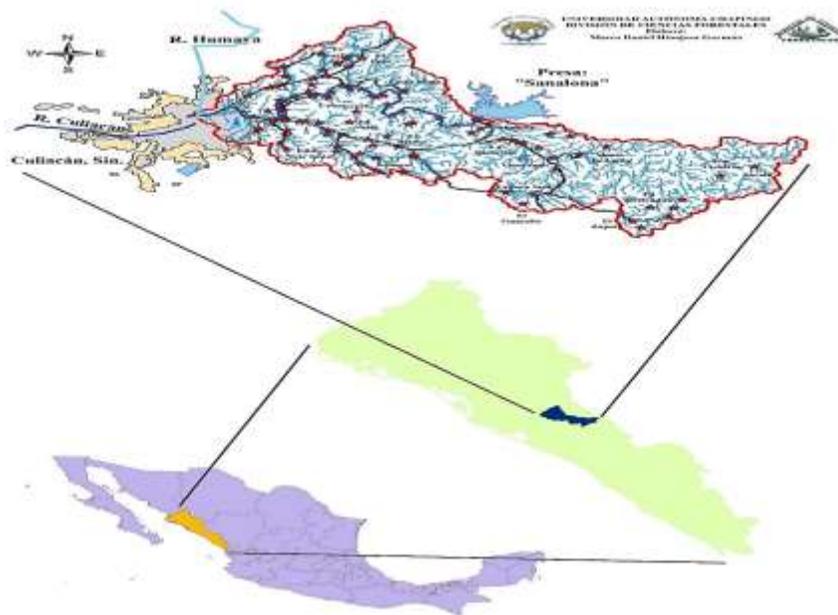
La presente investigación, pretende proporcionar propuestas técnicas para la planeación y administración de los recursos hídricos que la cuenca del río Tamazula proporciona, además de contribuir a la generación de conocimiento que permita valorar el potencial de oferta que de los servicios ambientales hidrológicos de dicha cuenca, proponiendo también, nuevos métodos para la gestión de los recursos hídricos por parte del distrito de riego 010 de Culiacán. Es importante también que en investigaciones posteriores, se propongan esquemas para el pago por servicios ambientales hidrológicos para la región. Si bien, la cuenca baja del río Tamazula es considerada una cuenca importante para la producción agrícola en el estado de Sinaloa, también es un excelente ejemplo a nivel nacional, sobre como los bosques brindan importantes servicios ambientales hidrológicos a las localidades de la cuenca, así como a la zona del valle de la misma, en este caso, al distrito de riego 010. Por lo que el objetivo de esta investigación es diagnosticar la relación entre los servicios ambientales hidrológicos y las zonas productivas del valle agrícola, específicamente del distrito de riego 010 de Culiacán.

## 1.1 Metodología

### 1.1.1 Área de Estudio

**Ubicación geográfica.** La cuenca baja del río Tamazula, está ubicada en el estado de Sinaloa, abarcando los municipios de Culiacán y una pequeña parte en el municipio de Cosalá (Figura 1), la mayor superficie se encuentra en el municipio de Culiacán, se localiza el Noroeste del estado de Sinaloa, entre los paralelos 24°58' Norte y 107°24' longitud oeste, con una altitud media de 216.72 msnm.

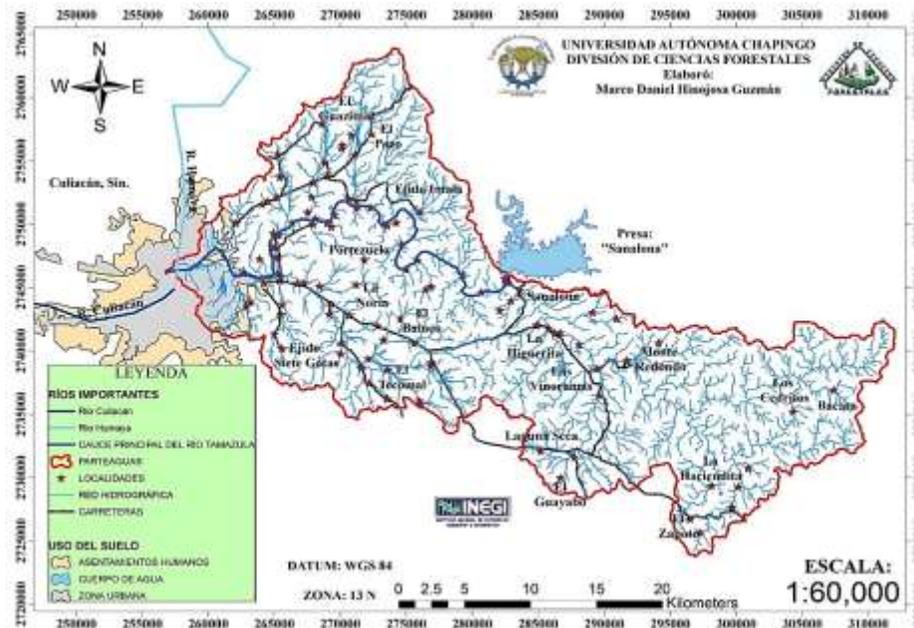
**Figura 1** Ubicación Geográfica de la Cuenca Baja del Río Tamazula



**Hidrología.** De acuerdo con la cartografía generada en la presente investigación, la cuenca baja del río Tamazula manifiesta una red de drenaje bastante definida de tipo dendrítico ya que viene a formar una mano extendida, siendo equivalentes los afluentes del río principal, a cada uno de los dedos de la mano (Errazuriz, y otros, 1998).

Es el tipo de drenaje fluvial más común que existe. La palabra dendrítico procede del griego dendron, que significa árbol, debido a la semejanza que este tipo de drenaje tiene con un árbol y sus ramas, las cuales forman sus tributarios o afluentes. La delimitación de la cuenca baja del río Tamazula comienza justo en el punto en el que convergen el río Humaya con el río Tamazula, que es al mismo tiempo, donde nace el río Culiacán. De acuerdo con la cartografía generada para esta cuenca, la longitud del cauce principal, la que corresponde al cauce principal, es de 46.91 km. El cauce principal es una corriente de 7mo. Orden (Figura 1.1).

**Figura 1.1** Mapa de Red Hidrográfica en la Cuenca Baja del Río Tamazula, Sin.



Uso actual del suelo y tipo de vegetación. De acuerdo con los registros de INEGI (2009) así como la cartografía generada, en la cuenca baja del río Tamazula los principales tipos de vegetación que se presentan son; Bosque Tropical Caducifolio (42, 510.4<sup>o</sup> ha); Bosque Mediano Sucaducifolio (1, 072.45 ha), y en menor medida, Bosque de Encino (1, 710. 65 ha). El resto de superficie de la cuenca se encuentra bajo agricultura de riego y temporal, así como actividades pecuarias (36, 283.61 ha).

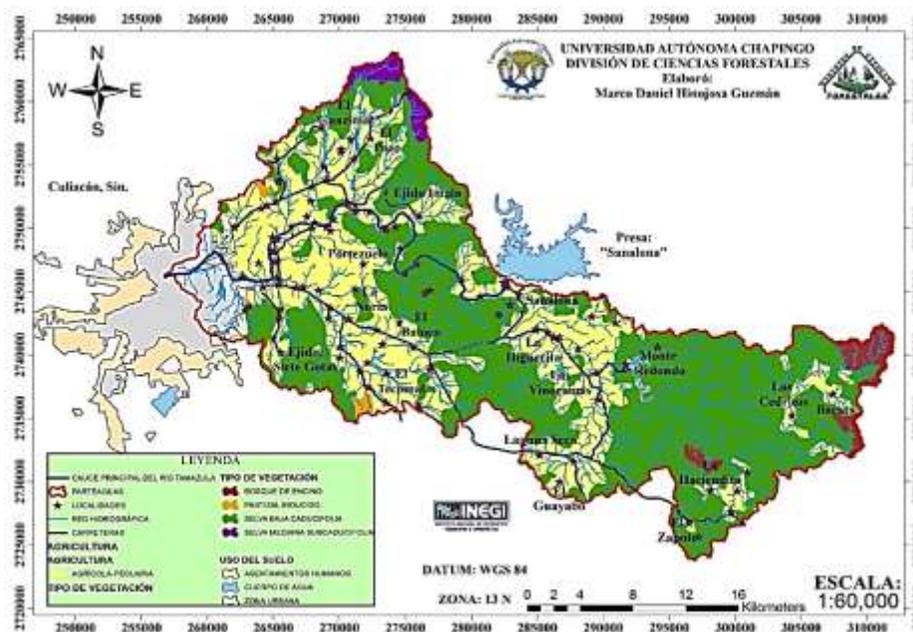
**Tabla 1** Uso del Suelo y Tipo de Vegetación en la Cuenca Baja del Río Tamazula, Sin.

Tipo de Vegetación	Clave	Superficie (ha)	%
Bosque de Encino	BQ	1, 710.65	2.08%
Agrícola-Pecuario	A/P	36, 283.61	44.20%
Sin Vegetación Aparente	S/V	204.82	0.25%
Pastizal Inducido	PI	315.17	0.38%
Bosque Tropical Caducifolio	BTC	42, 510.40	51.78%
Bosque Tropical Mediano Subcaducifolio	BTMS	1, 072.45	1.31%
Total		82, 097.11	100%

Fuente: Elaboración propia en base a cartografía de INEGI (2009) & CONABIO (2010)

El bosque tropical caducifolio se desarrolla entre 0 y 1900 m de altitud, la temperatura media anual es del orden de 20° a 29°C. Presenta dos estaciones bien marcadas: la lluviosa y la seca, la precipitación media anual va de los 600 hasta los 1200 mm. Presenta una franca preferencia por suelos someros pedregosos y se localiza a menudo sobre laderas de cerros, las texturas pueden ser muy variables de arcilla a arena, el pH de ácido a ligeramente alcalino, son suelos bien drenados y por lo común jóvenes, con características derivadas de la roca madre, que puede ser tanto ígnea, como metamórfica (Rsedowski, 2006). El mismo autor menciona que en este tipo de vegetación es común encontrar especies del genero *Bursera* spp. (cuajote), *Cyrtocarpa procera* (coco de cerro), *Ceiba aesculifolia* (pochote), *Conzattial multiflora* (palo totote) con *Lemaireocereus weberi* (cardón). Estos datos han cambiado con el tiempo debido a que en la actualidad el avance demográfico y el uso desmesurado de los recursos forestales han cambiado la apariencia de la microcuenca, la cual se puede apreciar en el mapa de elaborado con imágenes satelitales (Google Earth ®) (Figura 1.2).

**Figura 1.2** Mapa de Uso del Suelo y Tipos de Vegetación en la Cuenca Baja del Río Tamazula, Sin.



Demografía. La cuenca baja del río Tamazula se encuentra dentro de dos municipios, Culiacán y Cosalá. En la zona de estudio de acuerdo a INGI (2010) se encuentran 102 localidades las cuales se mencionan en el siguiente cuadro, así como el número de habitantes registrado por el INEGI en el Censo Nacional de Población y Vivienda (2010).

De acuerdo con la información proporcionada por el censo de población y vivienda (2010), dentro de las 102 localidades ubicadas dentro de la cuenca baja del río Tamazula viven 514,618 personas, de las cuales 505, 518 viven en la ciudad de Culiacán.

### 1.1.2 Caracterización de la cuenca

La delimitación de la cuenca baja se realizó de manera automática mediante el software para Sistemas de Información Geográfica ArcGIS 10.3®. Fue necesario también, utilizar programas de la paquetería de Microsoft Office® (Word, Excel, Power Point, entre otros), tanto para el procesamiento de datos como la edición del presente documento. Para el cálculo de los parámetros morfométricos de la cuenca baja, se aplicó el método aprendido en el curso de manejo de cuencas, edición 2015.

Plano de riesgo a inundaciones. En el caso del cálculo para el riesgo a inundaciones, se realizó un análisis de vulnerabilidad y riesgo de las edificaciones en la ciudad de Culiacán, se aplicó después de contar con la evaluación de amenazas y un diagnóstico físico el cual se generó con el programa Arc GIS 10.3®, utilizando como referencia valores calculados de los parámetros morfométricos de la cuenca como el tiempo de concentración, el índice de compacidad, la pendiente ponderada de la cuenca, la altitud de la boquilla de la cuenca baja del río Tamazula, entre otros.

Cálculo de huella hídrica. La metodología utilizada para el cálculo de la huella hídrica generada por los habitantes de la cuenca, fue la elaborada por UNESCO (2010), la cual establece como referencia, para la región noroeste de México que el volumen de agua utilizado diario  $5.42 \text{ m}^3$  por persona es de lo que representa  $1,978 \text{ m}^3$  al año. De este volumen, en promedio, el 70% es utilizado para la agricultura, 22% se destina para uso industrial y solamente el 8% es de uso doméstico.

Análisis FODA. Finalmente, la metodología que se utilizó para elaborar el análisis FODA, cuyo principal objetivo fue obtener información fidedigna y probable para la toma de decisiones. Para la ejecución de dicho análisis fueron seleccionados, de forma aleatoria simple decenas de puntos (coordenadas geográficas), con la finalidad de evaluar su cobertura vegetal, pendiente, uso del suelo, entre otros factores.

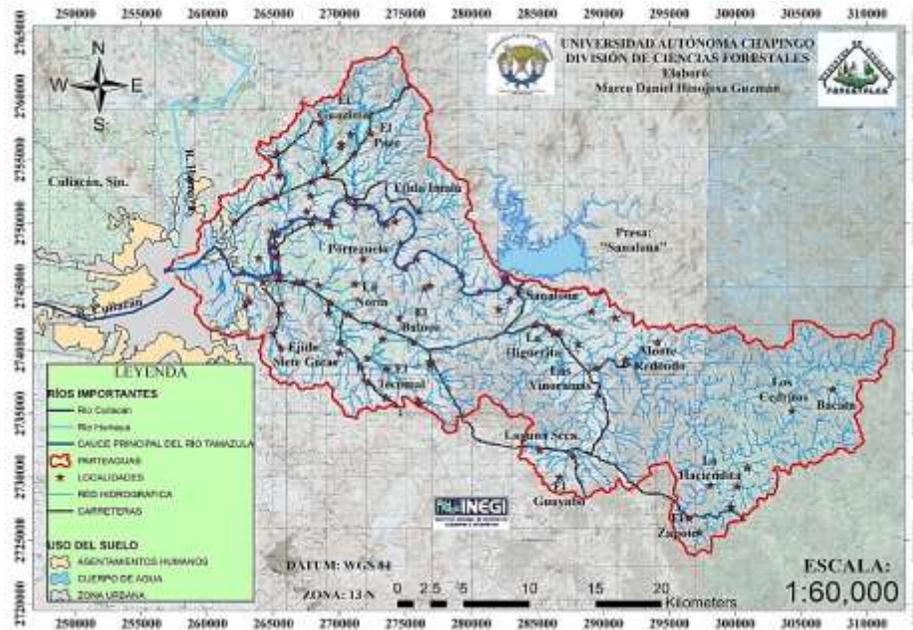
Para encontrar los valores de cada una de las variables citadas anteriormente se utilizó como instrumento de medición el análisis documental y registro cartográfico de instituciones como INEGI, CONABIO, SEMARNAT, entre otros; el cual, permite la revisión de todas las fuentes secundarias de información consultadas al respecto con el propósito de recopilar los datos necesarios para su procesamiento y posterior análisis.

El procedimiento seguido para acceder a los datos necesarios para la validación de la hipótesis se describe como sigue, primero se concibe un cronograma de trabajo el cual incluye la preparación de los técnicos que colaboraron en el estudio para lograr una mayor eficiencia de los resultados, la colaboración de las organizaciones para la revisión de sus análisis efectuado durante la construcción y análisis de la matriz de balance de fuerza y una vez cumplido estos pasos se procede a la utilización de procedimientos para el procesamiento y análisis de los datos.

### 1.2 Resultados y Discusión

En la siguiente figura se puede observar, el mapa base de la cuenca baja del río Tamazula, el cual fue de suma importancia para calcular de manera resumida, los parámetros morfométricos de la misma.

**Figura 1.3** Mapa Base de la Cuenca Baja del Río Tamazula, Sin. (INEGI, 2015)



**Tabla 1.1** Resumen de los parámetros calculados en la Cuenca Baja del Río Tamazula, Sin

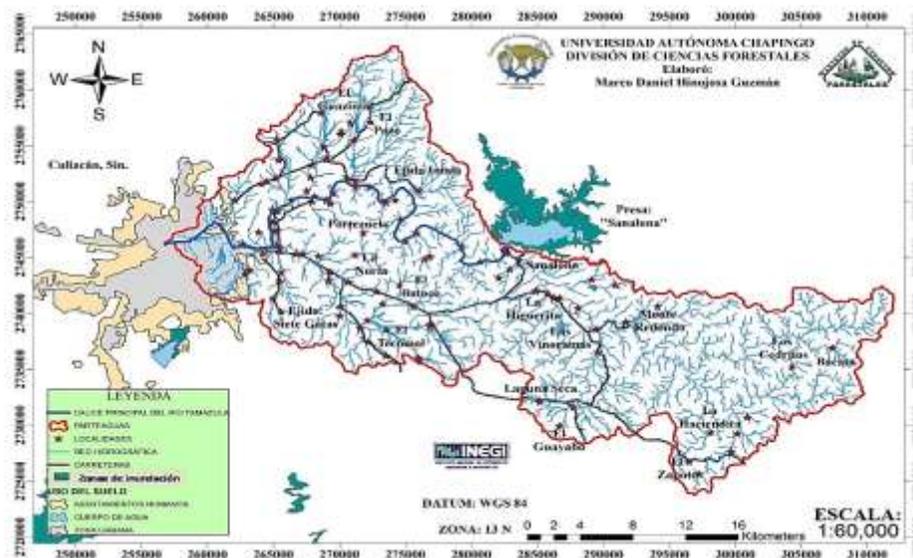
No.	Parámetro	Unidad de Medida	Valor
1	Área de la Cuenca	ha	82,097.11
		km <sup>2</sup>	820.97
2	Perímetro	km	212.86
3	Elevación Media de la Cuenca	msnm	216.72
4	Longitud del Cauce Principal	km	46.91
5	Densidad de Corrientes	corrientes/ha	0.15
6	Densidad de drenaje	km/km <sup>2</sup>	2.09
7	Pendiente Media del Cauce Principal	m/m	0.02
8	Índice de Compacidad o de GRAVELIUS	k	2.08
9	Pendiente Ponderada de la Cuenca	%	19.37
10	Pendiente Media de la Cuenca	%	16.94
11	Precipitación Media Anual	mm	871.90
12	Temperatura Media Anual	°C	28.20
13	Altura máxima del cauce principal	msnm	59.00
14	Altura mínima del cauce principal	msnm	31.00
15	Desnivel entre Cota más Alta y más Baja	m	28.00
16	Tiempo de Concentración	horas	1.53
17	Cota máxima de la Cuenca	msnm	1,145.00
18	Cota mínima de la Cuenca	msnm	36.00
19	Altura más frecuente	msnm	178.00
20	Orden del cauce principal	un	7.00
21	Longitud de la red hídrica	km	1,718.86
22	Porcentaje de Vocación Forestal	%	55.17%
23	Porcentaje de área urbana	%	0.25%
24	Porcentaje de áreas perturbadas	%	0.38%
25	Porcentaje de cobertura agrícola	%	44.20%
26	Longitud total de las curvas de nivel	km	7,951.33

Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI (2010).

En la tabla anterior, se observa el concentrado de 26 parámetros morfométricos calculados para el área de estudio, es en este cuadro donde se recogen los aspectos más básicos de una cuenca hidrográfica; éstos, junto con la descripción general desarrollada con la ayuda de la cartografía generada, constituyen la información mínima que se debe conocer para formar una primera idea de la naturaleza y comportamiento de una cuenca.

Riesgo a inundaciones. Según el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), se entiende por inundación: aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica, provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

**Figura 1.4** Mapa de Riesgo a Inundaciones de la Cuenca Baja del Río Tamazula.



Para elaborar el plano de riesgo de inundaciones, se tomó como referencia que la cota mínima del cauce principal es de 31 msnm, mientras que la cota mínima de la cuenca es de 36 msnm, por lo que se determinó, que dentro de la cuenca baja del río Tamazula las únicas zonas con riesgo a inundación son las riveras del mismo Río Tamazula, así como las áreas inundables de la presa Sanalona (Figura 1.4).

Cálculo de huella hídrica. Para obtener la cantidad de agua que se emplea para las diferentes actividades, CONAGUA (2012) menciona que los volúmenes de aguas nacionales concesionados o asignados a los usuarios se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), agrupándose para fines prácticos en usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y termoeléctricas) y no consuntivos (hidroeléctricas).

El 63% del agua para uso consuntivo proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), el resto de aguas subterráneas.

En este caso, dentro de la cuenca baja del río Tamazula, es en la compuerta de la presa Sanalona donde se tiene una planta hidroeléctrica.

**Tabla 1.2** Distribución mundial del uso del agua

Actividad	% destinado
Agricultura	70%
Industria	22%
Uso doméstico	8%

Fuente: UNESCO (2003)

Teniendo en cuenta lo anterior y de acuerdo con Duncan (2003) el consumo de agua está en función de una serie de factores inherentes a la localidad que se abastece y varía de una ciudad a otra. Los principales factores que influyen en el consumo de agua pueden ser: clima, nivel de vida de la población, costumbres de la población, sistema de provisión y cobranza (servicio médico o no), calidad del agua suministrada, costo del agua (tarifa), presión en la red de distribución, consumo comercial, consumo industrial, consumo público, pérdidas en el sistema existencia de red de alcantarillado, entre otros.

De acuerdo con CONAGUA (2014) para México se reporta que el promedio de consumo en agua per cápita es de 1, 978 m<sup>3</sup> por persona por año, a partir de esto y considerando que en la cuenca baja del río Tamazula se ubican 102 poblados, incluyendo a la ciudad de Culiacán y el Distrito de Tiego 010 Culiacán-Humaya y que esta cantidad considera no sólo el uso doméstico sino también el agrícola e industrial.

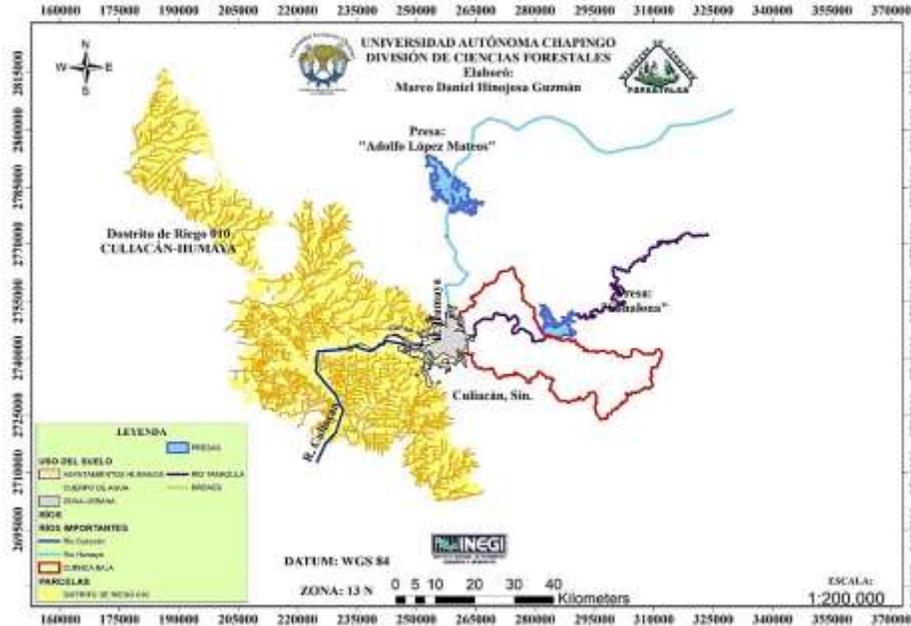
De esta manera en la zona de estudio el consumo de agua total corresponde a 2, 788, 806, 586.30 litros por día, o bien 1, 017 millones de m<sup>3</sup> al año, de los cuales 223, 104.52 m<sup>3</sup> por día se destinan al uso doméstico y 613, 537.45 m<sup>3</sup> por día para uso industrial.

De acuerdo con CONAGUA (2014) el volumen de agua destinado para la agricultura alcanza los 1, 952.16 millones de m<sup>3</sup>, tomando en cuenta solamente a la población que vive dentro de la cuenca baja del río Tamazula. En este caso, las industrias que se presentan dentro de la cuenca, son más del tipo agroindustrial para procesar el importante volumen de productos agrícolas que se producen en el distrito de riego 010.

Debido a que las aguas de retorno generadas por el Distrito de Riego 010 representan la mayor fuente de contaminación que se localiza aguas abajo de la cuenca, se recomienda, establecer humedales artificiales en los principales drenes del Distrito de Riego los cuales transportan a las aguas de retorno con una cantidad importante de contaminantes.

La propuesta para establecer humedales artificiales, se muestra en la siguiente figura.

**Figura 1.5** Propuesta de establecimiento de Humedales Artificiales en los principales Drenes del Distrito de Riego 010



Es en los drenes del Distrito de Riego 010 (las líneas naranjas), donde realmente se puede tener un impacto positivo con el establecimiento de humedales artificiales, los cuales, pueden funcionar como filtros naturales y reducir, hasta en un 70% el volumen de agro tóxicos que es vertido al agua por parte de las parcelas de cultivos.

#### Análisis FODA.

A partir de los resultados ya presentados y para realizar una mejor gestión de los recursos hidroagrícolas de la cuenca baja del río Tamazula, o bien para reconocer sus fortalezas o las acciones que deben llevarse a cabo para superar las debilidades o amenazas, se presenta el siguiente análisis FODA:

#### Fortalezas.

- El clima cálido y el corto periodo de precipitaciones propicia que la vegetación se desarrolle rápidamente y que se cierre rápidamente el dosel forestal.
- Poco más del 50% de la superficie de la Cuenca presenta cobertura forestal en buenas condiciones.
- La presencia de infraestructura hídrica dentro de la Cuenca, ayuda a que se realice de mejor manera la gestión de los recursos hídricos.

#### Oportunidades.

- Se cuenta con una superficie con vocación forestal significativa, que permitirá desarrollar proyectos bajo un modelo de sustentabilidad.

- Mejorar la estructura y densidad de los rodales forestales para la mejora en cantidad y calidad de agua que se puede cosechar en la Cuenca del Río Tamazula.
- Es posible desarrollar un programa de ordenamiento territorial, con la finalidad de aprovechar de manera óptima y sustentable los recursos disponibles.

#### Debilidades.

- No se dispone de suficiente información de las localidades que se ubican dentro del micro cuenca.
- Las políticas públicas de la región están más enfocadas a impulsar el desarrollo agropecuario que el forestal.
- Hay poco interés en la población de hacer un mejor uso de los recursos forestales.

#### Amenazas.

- La deforestación de bosques para la expansión de las áreas agrícolas y ganaderas.
- Las características morfológicas de la cuenca ocasionan graves inundaciones en la ciudad de Culiacán debido principalmente a que la infraestructura de la ciudad no está diseñada para evacuar el volumen agua generado por grandes tormentas y huracanes.
- Existe el riesgo latente, de que las tasas anuales de erosión aumenten, debido al aumento en la pérdida de cobertura vegetal y a las fuertes pendientes que se presentan en la parte alta de la Cuenca.

### 1.3 Conclusiones

La deforestación es un problema que afecta a cerca del 50% de la superficie de la cuenca baja del río Tamazula y es el tipo de vegetación denominado como bosque tropical caducifolio, el que tiene mayor afectación por este fenómeno en la región.

Las principales causas que generan deforestación en la cuenca baja del río Tamazula son el incumplimiento de las regulaciones vigentes en materia forestal, el libre acceso a las tierras comunales y ejidales de la cuenca y los bosques de galería de la corriente principal, de la falta de organización y gestión social y económica, sin soslayar el incremento de la población y del consumo, así como de otras exógenas como el cambio climático.

Alrededor del 70% del agua que se cosecha en la cuenca del río Tamazula es utilizada para abastecer a los 16 módulos de riego del Distrito 010 de Culiacán.

Los excedentes de riego que son aplicados en las hectáreas de cultivo son vertidos en drenes como aguas superficiales de retorno las cuales, de acuerdo con el programa Campo Limpio, transportan principalmente ditiocarbamatos, bupiridilos, organofosforados, organoclorados, compuestos inorgánicos, carbamatos y piretroides.

La producción agrícola intensiva, genera problemas en el mediano plazo, como la pérdida neta de suelo que es resultado de prácticas agrícolas desacertadas y por la salinización y anegamiento de las tierras de regadío.

El cambio climático, un factor que afecta de manera importante en actividades productivas de gran importancia, como lo es la agricultura en el estado de Sinaloa, ya que se han registrado aumentos en la temperatura que van desde 0.5 a 1.1 °C promedio anuales, lo cual se traduce en mayores requerimientos de agua por parte de los Módulos de Riego para poder así, garantizar la producción de los presentes ciclos agrícolas.

No debe olvidarse tampoco, que el cambio climático afecta también de manera significativa el régimen de lluvias a nivel mundial, que se traduce en huracanes y tifones de mayor intensidad; dichos fenómenos extraordinarios ponen en riesgo a unas urbanas como la ciudad de Culiacán, la cual ya se ha visto perjudicada por inundaciones cuando se presentan eventos como el huracán Manuel en el año 2010.

La destrucción de los bosques de galería es un fenómeno perturbador que tiene un efecto doblemente negativo, ya que, además de reducir e impactar directamente a la biodiversidad de especies que habitan en este tipo de ecosistemas, se elimina directamente una de las plantas tratadoras de agua más eficientes y económicas del planeta.

Es el sector forestal el que tienen mayor posibilidad de hacer frente a los efectos del cambio climático, mediante la conservación y restauración de ecosistemas de bosque tropical y de manglares (ya que se ha demostrado que son los más eficientes como sumideros de carbono), así como en las plantaciones forestales comerciales, que gracias a sus rápidos crecimientos son muy efectivas en el secuestro de carbono atmosférico.

La cuenca del río Tamazula, es un área de estudio muy interesante ya que su parteaguas incluye dos estados, más de 300 localidades incluyendo la capital del estado de Sinaloa, abastece de agua a los 16 Módulos de Riego del Distrito 010, y la contaminación de sus recursos hídricos perjudica, directamente, a los acuicultores que se encuentran aguas abajo de la boquilla de la cuenca.

#### **1.4 Recomendaciones**

Se necesita más inversión para continuar financiando los programas de pago por servicios ambientales a nivel nacional y mundial para proporcionar un mejor apoyo a las iniciativas internacionales para incrementar la gestión forestal sostenible y reducir la pérdida de bosques, especialmente en los bosques tropicales.

Es de la siguiente manera, que en el presente trabajo de tesis se pueden resumir las distintas medidas de acción que podrían adaptarse en el distrito de riego 010 para asegurar la disponibilidad del agua, tanto en cantidad como en calidad:

Establecimiento y operación de sistemas eficientes en función de los costos que permitan supervisar la calidad del agua destinada a los módulos de riego que conforman el distrito 010.

Prevenir los efectos negativos de las actividades agrícolas sobre la calidad del agua utilizada en otras actividades, urbanas e industriales, mediante la utilización óptima de insumos agrícolas (plaguicidas y fertilizantes).

Involucrar y hacer partícipe a los usuarios y a la población en general en los asuntos relacionados con la gestión del agua y establecer un plan de acción, para reducir los riesgos a inundaciones por fuertes avenidas, comenzando por cerrar el dosel en la parte alta de la cuenca.

Definir áreas prioritarias para realizar inversiones en infraestructura y mejorar la eficiencia de las infraestructuras de transporte de agua para que la misma pueda ser evacuada eficazmente cuando llegue a presentarse un evento extraordinario.

Establecer las medidas adecuadas en la agricultura con el fin de eliminar las fuentes de contaminación y reducir los procesos erosivos dentro de toda la cuenca.

Con base a las tasas de erosión presentes en la cuenca y a las características del sitio del que se trate, es necesario llevar a cabo las obras de conservación de suelos más adecuadas, como lo ha venido haciendo la Institución de Asistencia Privada FACES los últimos 5 años.

Educar y concientizar a los usuarios de los módulos de riego en lo relativo a los efectos negativos y contaminantes del uso de fertilizantes y plaguicidas sobre la calidad del agua y su residualidad en alimentos agrícolas y pesqueros.

Reducir los efectos negativos de los productos químicos agrícolas mediante la implementación de humedales verdes que filtren las aguas residuales de retorno agrícola a lo largo de los drenes del distrito de riego 010.

Tratar adecuadamente de las aguas residuales procedentes de las zonas urbanas y localidades, así como del abono generado por la ganadería intensiva también presente en la región.

Prevenir de la escorrentía de suelos y sedimentación, presentes en la parte alta de la cuenca del río Tamazula, las cuales reducen también y de manera importante la vida útil de la presa Sanalona.

Establecer criterios biológicos, físicos y químicos de calidad del agua para los usuarios de los módulos de riego, quienes influyen a su vez a los productores de los sistemas marinos, como lo son las granjas camaronícolas del estado de Sinaloa.

## 1.5 Referencias

Arévalo, L. A., & Rivera, J. C. (2013). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: centro-sur de la Mesa Central, México. *Investigaciones Geográficas*, II(81), 18-32.

Barros, V. (2006). *Cambio climático global* (Primera ed.). Roma, Italia.

Camacho, C. (2008). Esquemas de pagos por servicios ambientales para la conservación de cuencas hidrográficas en el Ecuador. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestale*, I(21), 54-66.

CNA. (2014). *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento* (Tercera ed.). Coyoacán, México, D.F.: Subdirección General de Administración del Agua.

CONAFOR. (2012). *El Pago por servicios ambientales: su papel en la reducción de la deforestación*. Zapopan, Jalisco: CONAFOR.

- CONAGUA. (1994). *Las Presas de México* (SEGUNDA ed.). Ciudad de México, México: CONAGUA.
- CONAGUA. (2000). *Reglamento de Operación del Sistema de Riego San Lorenzo-Culiacán-Humaya-Mocorito* (PRIMERA ed.). Culiacán, México: CONAGUA.
- CONAGUA. (2008). *Historia del Agua en Sinaloa, Siglo XX* (PRIMERA ed.). Culiacán, México: Universidad Autónoma de Sinaloa.
- CONAGUA. (2008). *Reglamento del Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya*. (PRIMERA ed.). Culiacán, México.: CONAGUA.
- CONAGUA. (2011). Estadísticas del agua en México. En *Usos del agua* (págs. 44-56). Ciudad de México, México: CONAGUA.
- Errazuriz, A. M., Cereceda, P., Gonzalez, M., Rioseco, R., González, J. I., & Henríquez, M. (1998). *Manual de Geografía de Chile* (Segunda ed.). Santiago, Chile: Andrés Bello.
- FAO. (2011). *Lucha contra la contaminación de los recursos Hídricos*. Roma, Italia: Departamento de Desarrollo Sustentable.
- INECC. (2014). *El Cambio Climático en México*. Recuperado el 8 de Agosto de 2016, de [http://www2.inecc.gob.mx/cclimatico/edo\\_sector/sector/amenaza-agricultura.html](http://www2.inecc.gob.mx/cclimatico/edo_sector/sector/amenaza-agricultura.html)
- INECOL. (2003). *La Situación de los Residuos Sólidos en México*. Ciudad de México, México: SEMARNAT.
- Murguía, A. V., Medina, E. D., Bray, D. B., & Rivera, R. (2014). Cambios en la cobertura arbolada de comunidades indígenas con y sin iniciativas de conservación, en Oaxaca, México. En *Investigaciones Geográficas* (págs. 55-73). Oaxaca, México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Pedraza, R. L. (2008). *Valoración del Potencial de Servicios Ambientales Hidrológicos en Vegetaciones Contratantes de la Sierra Gorda de Querétaro*. (PRIMERA ed.). Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Perevochtchikova, M., & Beltrán, A. V. (2014). *Los Servicios Ambientales Hidrológicos como instrumento alternativo para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en el Distrito Federal*. México, DF. : Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales.
- Rojas, A. C. (2006). *Historia de la Irrigación en Sinaloa (una visión panorámica)* (PRIMERA ed.). Culiacán, México: Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Salazar, F. E. (2004). *Las organizaciones agrícolas en México. Aspectos históricos y jurídicos, Culiacán: Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa* (PRIMERA ed.). Culiacán, México: Asociación de Agricultores del Río Culiacán.
- Sánchez, E. R. (2010). *Situación Actual y Futura de los Pagos por Servicios Ambientales en México: en el caso de hidrológicos*. México, D.F.: SEMARNAT.

Sandoval, A. S. (2010). *Consolidación de la Transferencia del Distrito de Riego 010 Culiacán Humaya San Lorenzo a los usuarios* (Primera ed.). Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.

SEMARNAT. (2008). *Programa de Pago por Servicios Ambientales* (Primera ed.). México: SEMARNAT.

SEMARNAT. (2010). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego* (PRIMERA ed.). Culiacán, México: Consejo Nacional de Productores de Maíz A.C. México.

SEMARNAT. (2010). *Identificación de Áreas Críticas para la Provisión de Servicios Ambientales Hidrológicos, e Identificación de Usuarios y Proveedores en Sinaloa*. Culiacán, Sinaloa: CONAFOR.

## **La silvicultura comunitaria y su aporte a la enseñanza**

TAPIA-AURELIO, Bastida & FLORES-ESCOBAR, Georgina

B. Tapia & G. Flores

Departamento de la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México - Texcoco Km. 38.5, 56230 Texcoco de Mora, Méx.  
ac5337@chapingo.mx

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

The present work describes the community forestry and its contribution to the learning of the third year and propedeutic students of the Agricultural Preparatory of the Autonomous University of Chapingo, through the practices conducted by the students in the population nucleus with sustainable use of woods. Presenting the experiences gained for the students who visited the community of San Pablo Macuilianguis in the North Sierra of Oaxaca and the Peñuelas Pueblo Nuevo common in Chignahuapan, Puebla. In both places counting with a sustainable and diversified forest use, which are used through the communal organization.

## 2 Introducción

En México, alrededor del 80 por ciento de los terrenos forestales se encuentran en propiedad de aproximadamente 8,500 ejidos y comunidades con bosques y selvas, con una población estimada en unos 12 millones de habitantes, siendo uno de los pocos países del mundo con este tipo de tenencia de la tierra. Muchas de ellas son comunidades con población mayoritariamente indígena y con altos índices de marginación, de ellas solo 2,994 realizan actividades forestales (<http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/silvicultura-comunitaria/>, fecha de consulta: 14/07/2016).

El aprovechamiento de los recursos naturales de los bosques por sus dueños en forma común ha dado origen a la silvicultura comunitaria, donde la característica fundamental es la existencia de un territorio de uso común en manos de una colectividad, donde los dueños de los bosques se organizan para manejarlos en forma sustentable, aprovecharlos, comercializarlos y obtener los beneficios de forma directa, sin intermediarios, beneficios que coadyuvan a fortalecer sus procesos de desarrollo social y económico. Motivo por el cual la silvicultura comunitaria mexicana es un ejemplo a nivel mundial de aprovechamiento sustentable y desarrollo autogestivo de varias comunidades forestal (Gerez y Purata, 2008, p. 10).

Este esquema inició a mediados de la década de los años 80,s del siglo pasado, antes de esa fecha, el gobierno entregaba unilateralmente concesiones a empresas privadas y paraestatales, sin tomar en cuenta a los dueños del bosque. Concesiones que iban de 25 a 50 años, dependiendo de la región. Al suspenderse el sistema de concesiones, las comunidades tuvieron la oportunidad para aprovechar sus recursos mediante la elaboración y aprobación de un plan de manejo (Gerez y Purata, 2008, p. 12).

Actualmente unas 500 comunidades y ejidos han desarrollado empresas forestales exitosas, destacados en ello las comunidades de San Juan Nuevo Parangaricutiro en Michoacán; Ixtlán de Juárez, Pueblo Mancomunados y San Pablo Macuilianguis en Oaxaca.

Algunos de ellos cuenta con una gran superficie, sin embargo existen comunidades y ejidos relativamente pequeños como el Ejido Nopalillo en Epazoyucan, Hidalgo; San Antonio Matahuacales y Peñuelas Pueblo Nuevo en Chignahuapan, Puebla; así como el ejido de Agua Bendita en Amanalco de Becerra en el Estado de México (CONAFOR, 2014).

La forma de ingreso de los estudiantes a la UACH asegura que muchos de ellos sean de ejidos y comunidades con recursos forestales, que en la actualidad no estén bajo aprovechamiento, por lo que ellos pueden ser promotores del manejo sustentable y colectivo de esos recursos, convirtiéndose en impulsores del desarrollo social y agentes de cambio. Por lo tanto se debe fomentar el conocimiento de este tipo de organización para el aprovechamiento del bosque, para que los estudiantes lo tomen como referente y lo promuevan en sus comunidades.

Con esta finalidad vamos a referir las experiencias generadas con algunos grupos al visitar el ejido de Peñuelas Pueblo Nuevo en Chignahuapan, Puebla, con una superficie bajo aprovechamiento forestal sustentable de un poco más de 800 hectáreas y la comunidad de San Pablo Macuiltianguis, en la Sierra Norte de Oaxaca, con más de nueve mil hectáreas bajo manejo forestal sustentable. El primero se ha visitado con varios grupos de tercer año en el viaje corto de la materia de Sistemas de Producción Forestal, así como con dos grupos de Propedéutico durante el Viaje de Estudios Integrador II. San Pablo Macuiltianguis se ha visitado con cuatro grupos de Propedéutico durante el Viaje de Estudios Viaje Integrador II.

## 2.1 Desarrollo

Características de la silvicultura comunitaria en México.

El 80% de los bosques de México son propiedad comunal, con más de 8500 comunidades con recursos forestales. En los últimos años más de 2,300 comunidades tuvieron permisos de aprovechamiento forestal y muchas de ellas cuenta con empresas forestales comunitarias (EFC), con capacidad de aserrío y procesamiento industrial. Cerca del 85% del volumen autorizado anual de madera, proviene de los bosques comunitarios, equivalente a 10 millones de m<sup>3</sup> madera en rollo, proveniente de 2.8 millones de hectáreas. Casi 10% de las comunidades con aprovechamiento forestal han logrado un alto grado de integración industrial, situación deseable para todo el sector (<http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/silvicultura>, fecha de consulta: 12/08/2015).

**Tabla 2** Nivel de desarrollo de las comunidades con recursos forestales en México

Nivel de desarrollo	Características de las comunidades o productores	% del total
Tipo I. Sin aprovechamiento. (Productores potenciales)	Comunidades, poseedoras de recursos forestales, sin organización, que tienen potencial comercial pero que en la actualidad no llevan a cabo actividades de ordenamiento forestal, planeación, uso, conservación o manejo de sus ecosistemas forestales, ya que no tienen programa de manejo o la capacidad para implementar uno.	48%
Tipo II. Aprovechamiento mediante intermediarios	Comunidades poseedoras de recursos forestales que tienen programas de manejo y permisos de extracción de productos maderables, pero no participan directamente en la cosecha forestal, venden la madera en pie, ya que delegan en terceros la extracción y comercialización de la madera, solo reciben un pago mínimo por ella.	32%
Tipo III. Productores primarios, con poca capacidad	Comunidades poseedoras de recursos forestales que tienen programas de manejo y permisos de extracción de productos maderables, que participan en alguna fase de la cosecha forestal, así como en algún aspecto del transporte, venta y/o transformación primaria.	11%
Tipo IV. Con capacidad para la transformación primaria y la comercialización	Comunidades dueñas o poseedoras de recursos forestales que tienen programas de manejo y permisos de extracción de productos maderables, además de la infraestructura para la transformación primaria, que llevan a cabo ellos mismos la venta de sus productos, principalmente madera aserrada.	8%
Tipo V. Con capacidad para la transformación secundaria, la industrialización y la comercialización	Comunidades dueñas o poseedoras de recursos forestales que tienen programas de manejo y permisos de extracción de productos maderables, además de la infraestructura para la transformación primaria y secundaria, la elaboración de productos terminados y que llevan a cabo ellos mismos la venta de sus productos o lo hacen a través de asociaciones de productores.	1%

Fuente: Modificado de. <http://www.rainforest-alliance.org/sites/default/files/publication/pdf/Hodgdon-Chapela-Bray-ESP-WEB.pdf>. (Fecha de consulta. 12/09/2015)

El nivel de desarrollo alcanzado por las comunidades forestales ha sido desigual, como se observa en la siguiente tabla, donde se clasifican las comunidades forestales por su grado de desarrollo y se presenta el porcentaje que se estima que se ubica en cada nivel organizativo.

Como se puede ver en la tabla anterior, cerca de la mitad de las comunidades forestales carecen de organización para el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales. Si a ese porcentaje se le suman las comunidades que aprovechan sus bosque mediante concesiones a terceros, el porcentaje que no aprovecha directamente los recursos forestales es del orden del 80 % del total, una cifra muy alta. En el extremo opuesto solo el uno por ciento se encuentra en la situación deseable de comunidades que aprovecha sus bosques dándoles valor agregado al vender productos terminados como muebles, puertas ventanas y molduras.

Las ventajas de la silvicultura comunitaria son varias, entre las más relevantes destacan las siguientes. Los pobladores cuidan los bosques y selvas porque de ello obtienen beneficios. El aprovechamiento sustentable de bosques y selvas se convierte en una fuente local de empleos directos e indirectos. Aumenta la producción forestal, maderable y no maderable. Se pagan mejores salarios, más altos que en la región. Se dinamiza la economía local, hay más dinero y mejores servicios. Se disminuye la migración y el abandono del campo. Se invierte en la comunidad y se crean obras comunitarias. Se fomenta el desarrollo social y comunitario. Disminuye la pobreza en forma autogestora. Algunos profesionistas encuentran empleo y permanecen en sus comunidades. Contribuye de una manera significativa en la actividad forestal de México. Conserva la biodiversidad igual o más que las ANP (Áreas Naturales Protegidas) y fomenta la estabilidad social (CONAFOR s/f, p. 15 - 16).

Una forma de contribuir a un sector forestal más consolidado consiste en promover los casos exitosos y desde las aulas contribuir a fomentar, en nuestros estudiantes, la idea de la organización para el manejo comunitario y sustentable de los recursos forestales. Los dos casos que se refieren a continuación han contribuido a ello.

### **2.1.1 Silvicultura comunitaria en el Ejido Peñuelas Pueblo Nuevo, Chignahuapan, Puebla**

El ejido Peñuelas Pueblo Nuevo pertenece al Municipio de Chignahuapan, Puebla. Se localizan en los límites con el estado de Hidalgo y con el Municipio de Zacatlán, Puebla. Las coordenadas geográficas del centro de la población son 19° 57' 21" de Latitud Norte y 98° 06' 40" Longitud Oeste. Se ubica a una altitud promedio entre 2650 a 3100 msnm, en el inicio de la Sierra Norte de Puebla. El clima predominante es semifrío subhúmedo con lluvias en verano, presenta temperaturas medias mensuales que oscila entre los 5°C y 15 °C, con temperatura promedio anual de 13.5° C y precipitación de 750 a más de 1000 mm anuales en las partes altas (Bastida y Reyes, 2016).

La superficie total del ejido es de 1,691 hectáreas de las cuales 784 hectáreas son de área parcelada, dedicadas a la agricultura y ganadería, otras 73 hectáreas corresponden al asentamiento humano. Las otras 834 hectáreas son tierras de uso común con bosques de clima templado frío, donde se practica la silvicultura comunitaria. El ejido está integrado por 110 ejidatarios, cuya actividad principal es el manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos forestales. Cuenta con 553 habitantes, 273 hombres y 280 mujeres que viven en 129 viviendas, por lo que se considera como una comunidad pequeña (Bastida y Reyes, 2016).

Llevan 35 años de experiencia en el aprovechamiento forestal sustentable, donde con la incorporación de algunas parcelas agrícolas mediante el establecimiento de plantaciones forestales ha alcanzado una superficie de 910,74.20 hectáreas de bosque bajo aprovechamiento forestal sustentable, mediante el Método de Desarrollo Silvícola (MDS), con tratamiento de árboles padre con resalvos, regeneración natural y plantación forestal en los predios aprovechados cada año. Cuenta con bosques de pino (*Pinus patula*, *P. montezumae*, *P. ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote* y *P. greggii*), encino (*Quercus spp*) y oyamel (*Abies religiosa*), así como bosques mezclados, donde se realiza el aprovechamiento maderable.

En el año 2013 el ejido fue autorizado para desempeñarse como comunidad instructora o comunidad escuela, habilitada por las dependencias federales (CONAFOR Y SEMARNAT), con la finalidad de capacitar a otros ejidos y comunidades mediante el intercambio de experiencias y conocimiento sobre su organización y el manejo de sus empresas a otros ejidos y comunidades con diferente nivel de organización y desarrollo productivo (<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/37/4345Comunidades%20Instructoras.pdf>, fecha de consulta: 15/07/2016).

Situación que permite a ejidos y comunidades forestales, de diferentes zonas y regiones del país, intercambiar experiencias y “caminos recorridos” en sus procesos con otros ejidos y comunidades que recién inician o sustentan un incipiente manejo de sus recursos naturales. Así mismo, se propicia el establecimiento de acuerdos de cooperación, mediante el uso de redes de comunicación entre organizaciones comunitarias que fortalecen la cadena productiva sectorial y la formación de capital humano.

El ejido cuentan con las siguientes empresas comunitarias; 1) Unidad de aprovechamiento maderable del bosque bajo manejo sustentable. 2) Vivero forestal, de cinco hectáreas y capacidad de producción de cinco millones de plántula. 3) Banco de germoplasma integrado por; a) 100 árboles semilleros de características sobresalientes, b) dos huertos semilleros, uno de los cuales ya empieza a producir semilla, c) el establecimiento reciente de un huerto clonal, injertado con yemas de los 100 árboles semilleros, d) instalaciones y maquinaria para la extracción, limpieza y tratamiento de las semillas, e) cámara fría para almacenar la semilla, y, e) laboratorio de análisis de semillas. 4) Aserradero que se abastece de los bosques del ejido. 5) Transporte y maquinaria pesada, tractor montacargas, retroexcavadora, tractor agrícola, camión de volteo y camionetas, que en su conjunto integran la empresa de construcción de caminos. 6) Comunidad instructora, para lo cual cuenta con instalaciones, servicios y alojamiento para grupos de 30 a 40 integrantes. Además del cobro por servicios ambientales hidrológicos en más de 240 hectáreas. Con todo ello ha generado entre 25 y 30 empleos permanentes y más del doble de empleos temporales, además de los empleos indirectos derivados de toda actividad productiva.

Así mismo están trabajando en el fortalecimiento de un proyecto eco turístico y la implementación de sistemas de riego agrícola a partir de la construcción de una pequeña presa en los terrenos ejidales. Además tienen como proyectos el establecimiento de una embotelladora de agua y la construcción de hornos para elaboración de carbón a partir de la madera del encino.

Actualmente cuentan con la certificación forestales de manejo sustentable del bosque FSC, (Forest Stewardship Council; Consejo de Manejo Forestal), para 903.66 hectáreas que se fue otorgada en el año 2015 por apegarse a un manejo sustentables de sus bosques (<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/6757Padr%c3%b3n%20de%20predios%20certificados%20y%20en%20proceso%20de%20certificaci%c3%b3n%20de%20FSC.pdf>, fecha de consulta: 15/07/2016). A partir del año 2012 cuentan con la certificación Manejo Sustentable de Bosques, en 912 hectáreas, también cuentan con la certificación nacional bajo el esquema de la Norma Mexicana NMX-AA-143-SCFI-2008, la cual contempla los principios, criterios e indicadores que aseguran la sustentabilidad ambiental, económica y social de los aprovechamientos forestales, con ella se verifica el cumplimiento de principios, criterios e indicadores del manejo sustentable de los bosques y certifica su aplicación (<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/6756Padr%c3%b3n%20de%20predios%20certificados%20NMX.pdf>, fecha de consulta: 15/07/2016). Además están en proceso de certificar su aserradero, bajo el concepto de “Madera controlada (mc)” que implica que la madera que procesan viene de bosques bajo aprovechamiento legal y certificados como sustentables.

### **2.1.2 Silvicultura comunitaria en la comunidad de San Pablo Macuilianguis, Ixtlán, Oaxaca**

La comunidad de San Pablo Macuilianguis se localiza en la región Sierra Norte o Sierra de Juárez de Oaxaca, Distrito de Ixtlán de Juárez, entre los paralelos 17° 32' 06'' de latitud norte y 96° 33' 12'' de longitud oeste, a una altura promedio de 2,120 metros sobre el nivel del mar y a 118 km de la Ciudad de Oaxaca. Es una región montañosa y accidentada con fuertes pendientes. Colindando al norte con los terrenos comunales de Santiago Comaltepec, al Sur con las tierras comunales de San Juan Luvina y de San Miguel Abejones, sirviendo como límite en una buena parte el Río Grande, al Este con los terrenos comunales de Tectitlán y San Juan Quiotepec (<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/muni-cipios/20296a.html>, fecha de consulta: 14/07/2016; [https://www.finanzasoxaca.gob.mx/pdf/inversion\\_publica/pmds/11\\_13/296.pdf](https://www.finanzasoxaca.gob.mx/pdf/inversion_publica/pmds/11_13/296.pdf), p. 22, fecha de consulta: 14/07/2016). La superficie total de la comunidad es de 9703 hectáreas, mismas que están bajo el régimen de propiedad ejidal comunal. Sus habitantes son descendientes del grupo étnico zapoteco. Cuenta con una población total de 655 habitantes de los cuales 331 son hombres y 324 son mujeres, con predominancia de personas de la tercera edad, ya que la mayor parte de los jóvenes han emigrado para estudiar o trabajar en otras partes de México y a los Estados Unidos.

La superficie territorial se extiende por tres tipos climáticos, dependiendo de la altura; en las partes altas, por arriba de los 2500 el clima es semifrío sub-húmedo con lluvias en verano; en las partes medias entre los 1800 y 1500, se ubica el clima templado subhúmedo con lluvias en verano, con un temperatura media normal de 16.3 °C y precipitación anual de 1,519 mm anuales, ambos tipos de clima con predominancia de bosques de coníferas y pino -encino. Por debajo de los 1800 se ubica el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano, donde predomina la selva baja. Forma parte de la cuenca hidrológica del Papaloapan, entre sus corrientes principales destacan los ríos Salado o Grande, Cajonos, Puxmecatan o Trinidad. Las actividades productivas son: la silvicultura, la minería, la agricultura y la ganadería. La agricultura es de temporal, cultivos de básicos y algunas hortalizas, principalmente para autoconsumo, misma que ha ido perdiendo importancia debido a la fuerte pendiente de los terrenos donde se dificulta practicarla. La ganadería consiste en la cría de vacunos y aves de corral para autoconsumo, también es incipiente debido a la escasez de forrajes. La minería consiste en la extracción de pétreos (piedra grava y arena del Río Grande, para lo cual cuenta con permiso). La producción forestal es la actividad con mayor importancia, debido a que es la que mayor ingreso aporta, toda vez que el uso de suelo es en su mayoría de carácter forestal, como se puede apreciar en la siguiente tabla sobre el uso del suelo.

**Tabla 2.1** Tipos de uso de la tierra en San Pablo Macuilianguis, Oaxaca

Tipo de uso	Superficie (ha)	% del total
Área de producción maderable	7,139.959	
Área conservación y protección	2,067.441	
Área reforestación y plantaciones	107.64	
Área recreación y ecoturismo	6.04	
Área vivero forestal	1.676	
Subtotal uso forestal	9,322.756	96.1%
Área agrícola	358.344	03.7%
Área urbana, industria forestal y vialidades	22.158	00.20
Total superficie de la comunidad	9,703.258	100.00

Fuente: Ponencia 2014. Silvicultura comunitaria en la comunidad de San Pablo Macuilianguis, Ixtlán, Oaxaca

A principios de la década de 1980 la comunidad, y la región, se independiza de la papelería “Fábrica de papel de Tuxtepec (Fapatux)”, e inició el aprovechamiento de sus recursos forestales a través de la conformación la “Unidad Económica de Explotación Forestal Comunal”, la cual cuenta con su propio personal técnico forestal permanente. En el año 2006 se crean las empresas “Comunidad de San Pablo Macuilianguis” y “San Pablo Macuilianguis S. P. R. DE R. L”, ambas con registro federal de contribuyentes. Bajo estas denominaciones se agrupan todas las empresas con que cuenta la comunidad. Actualmente tiene un ordenamiento territorial comunitario y aprovechamiento forestal en 8,029 hectáreas de bosque de pino y pino-encino (Bastida y Reyes, 2014).

Macuilianguis tiene como misión ser “un grupo de empresas comunitarias, que propician el desarrollo de las actividades de producción, transformación y comercialización de productos agrícolas, forestales, ganaderos, así como la prestación de todo tipo de servicios, satisfaciendo los requerimientos de los consumidores, buscando la rentabilidad con compromiso social”. Como visión se plantea: “Ser una empresa consolidada en la zona centro-sur del país, ofreciendo variedad de productos certificados de la más alta calidad, elaborados con mano de obra calificada; produciendo, transformando y comercializando productos con mayor valor agregado”.

Para ello han determinado los siguientes valores que los rigen; i) *Solidaridad*: Coadyuvar por el bien común de nuestra comunidad, ii) *Honestidad*: Actuar siempre con la veracidad, iii) *Responsabilidad*: Cumplir en lo individual con el deber encomendado y en lo social, fomentar el desarrollo sustentable, iv) *Liderazgo*: Generar la búsqueda y conquista de la verdad, v) *Justicia*: Dar a cada quien lo que le corresponde, vi) *Amor a la naturaleza*: Respetar y valorar el medio ambiente, vii) *Trabajo en equipo*: Fomentar un ambiente de armonía, viii) *Calidad*: Superar las expectativas planteadas en la filosofía comunitaria, ix) *Compromiso*: Desarrollar empresas con profundo deber social”. Actualmente cuentan con las siguientes empresas comunitarias: 1) Unidad de aprovechamiento maderable, sustentable y diversificado del bosque. 2) Vivero forestal con capacidad para producir toda la planta necesaria para la reforestación. 3) Aserradero comunal. 4) Centro de ecoturismo, el cual cuenta con cabañas para el alojamiento de grupos de 50 personas, comedor, áreas recreativas como alberca, tirolesa, ciclismo de montaña, recorridos por senderos con vistas a pinturas rupestres y a la comunidad entre otros. 5) Concesión y permiso de aprovechamiento de materiales pétreos, mediante la extracción de; grava, arena y piedra del río. 6) Estacionamiento y edificio de oficinas en la ciudad de Oaxaca. 7) Maquinaria y transporte propio para la extracción de madera y material pétreo. 8) Transporte comunitario de la comunidad a la ciudad de Oaxaca. Además han apoyado la formación de una farmacia tradicional y la conformación de una escuela para enseñanza de la lengua zapoteca. Como parte del ecoturismo están implementando un orquidario con especies nativas.

Con todo lo anterior han generado un promedio de 90 a 95 empleos directos, la mayoría de ellos permanentes, de los cuales unos 30 son para personas de la comunidad, el resto, entre 50 y 60 son para gente de las comunidades vecinas, debido a que no cuentan con suficiente mano de obra joven y las personas mayores se ocupan en la agricultura y la ganadería.

La mayoría de los miembros de la comunidad participan en las labores de aprovechamiento del bosque y mantenimiento de caminos mediante el sistema de tequio y se tiene un sentido de pertenencia, los cargos son una obligación y los ingresos obtenidos se reparten entre los comuneros y es un orgullo, para ellos, poder participar para el beneficio de la comunidad.

En el ámbito forestal cuentan con el premiso, Semarnat-sgpa-ar-926-2007, para el periodo 2007-2017, para el aprovechamiento forestal maderable en 2,854 hectáreas, con volumen autorizado de madera en rollo, para 105,659 metros cúbicos de pino, 38,918 metros cúbicos de encino y 15,359 metros cúbicos de otras especies de hojosas. Las principales especies aprovechables son *Pinus pseudostrabus*, *Pinus oaxacana*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus douglasiana*, *Pinus patula*, *Pinus devoniana*, *Pinus teocote*, encinos (*Quercus spp*) y aile o arbole del agua (*Alnus spp*) (Bastida y Reyes, 2014).

El bosque es manejado mediante un sistema silvícola combinado, donde al 90% se aplica el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) y en el 10% restante está bajo el Método de Desarrollo Silvícola (MDS). El MMOBI se aplica en terrenos con pendiente mayores a 50%, mientras que el MDS es aplicado a superficies forestales con una pendiente menor a 50% (Flores y García, 2016).

Cuenta con certificación forestal de Manejo de Bosques Sustentables (BS) para 8,029.279 hectáreas de bosques y selvas (<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/6756Padr%c3%b3n%20de%20pre-dios%20certificados%20NMX.pdf>, fecha de consulta: 15/07/2016). En el año 2002 obtuvieron el certificado internacional FSC, (Forest Stewardship Council; Consejo de Manejo Forestal) por apegarse a un manejo sustentable de sus bosques. En el año 2013, la comunidad, obtuvo el Premio Nacional al Mérito Forestal 2013, en la categoría de Manejo y Ordenación Forestal. Además de Auditoría Técnica Preventiva (ATP), evaluación que realiza el personal autorizado para promover e inducir el cumplimiento de lo establecido en los programas de manejo, estudios técnicos en ejecución y demás actos previstos en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y otras disposiciones legales aplicables, respecto al aprovechamiento forestal (<http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/certificación-forestal/>, fecha de consulta: 15/07/2016). En la actualidad se lleva a cabo el programa de desarrollo forestal 2015-2025, dentro del cual se contempla un aprovechamiento de 4,523 hectáreas de bosque de clima templado, pino y encino.

## **2.2 Resultados**

### **2.2.1 Vistas y prácticas con estudiantes**

Dentro del programa de la materia de Sistemas de Producción Forestal, que se imparte tanto a los grupos del tercer año de la Preparatoria Agrícola, como a los grupos de Propedéutico, se requiere reforzar la teoría con aspectos prácticos, los cuales se lleva a cabo mediante el diseño de una serie de prácticas de campo.

Los objetivos generales del curso de Sistemas de producción forestal para tercer año son:

1) Presentar un panorama general de los recursos forestales existentes en México, para que los participantes valoren la importancia ecológica, económica y social de los mismos y así fomentar el desarrollo de una conciencia colectiva que apoye la conservación y evitar la destrucción de dichos recursos. 2) Analizar las principales formas de rehabilitación, restauración y fomento de los recursos forestales, para en su momento aplicarlas a fin de incrementar los mismos en beneficio de la sociedad, y 3) Identificar las principales formas de manejo y aprovechamiento de los recursos forestales que existen en el país, para planificar el aprovechamiento de los bienes y servicios que de ellos se pueden obtener bajo un enfoque sustentable, que ayude en la conservación y preservación de dichos recursos. 4) Caracterizar los sistemas y métodos de manejo y aprovechamiento de los recursos forestales, con la finalidad de analizar los conocimientos técnicos básicos utilizados en la adecuada administración de los recursos forestales. 5) Conocer y analizar las formas de manejo y aprovechamiento los recursos forestales y las diferentes maneras de organizar la producción forestal en México, particularmente con los recursos forestales de climas templados y fríos, para comparar los conocimientos teóricos con la realidad de la actividad forestal en la región visitada, así como verificar la utilidad de los mismos en la realidad.

La práctica 7 “Reconocimiento de la actividad forestal y su importancia a nivel regional”, tiene por Objetivo: Conocer y analizar las formas de manejo y aprovechamiento de los recursos forestales y las diferentes maneras de organizar la producción forestal en México”. Consiste de un viaje corto de tres días, dos de los cuales se dedican al aprovechamiento forestal maderable en una comunidad y se visita un aserradero.

El Programa del curso de Sistemas de producción forestal para Propedéutico plantea las siguientes competencias: 1) Identificar la situación actual de los recursos naturales del país, considerando las diversas formas de uso, manejo y aprovechamiento para orientar una gestión acorde con los principios de sustentabilidad. 2) Exponer un panorama general de los recursos forestales existentes en México, en donde los participantes valoren la importancia ecológica, económica y social de los mismos para fomentar el desarrollo de una conciencia colectiva que apoye la conservación y evitar la destrucción de dichos recursos, y 3) Diferenciar los sistemas y métodos de manejo de los recursos forestales para adecuar su aprovechamiento y administración.

Varias prácticas de la materia “Sistemas de producción forestal” se desarrollan como parte de la materia Viaje de Estudios Integrador II, el cual se plantea “Contextualiza e identifica las condiciones del medio natural y social de país bajo las cuales se desarrollan las actividades agropecuarias y forestales, utilizando conocimientos y herramientas tanto de las ciencias naturales como de las sociales para el manejo y aprovechamiento de los recursos y orientar una gestión acorde con los principios de atención integral y sustentabilidad”.

Acorde con lo anterior; varios grupos, tanto de Propedéutico como de Tercer año del Plan de Estudios de Preparatoria Agrícola de la AUCH, han asistido a alguna de las dos comunidades que aquí se analizan, y otras más, donde se desarrolla un aprovechamiento forestal sustentable, mecanismo mediante el cual se tiene la oportunidad de conocer las actividades que en ambas comunidades están realizando.

En ambas comunidades los grupos son atendidos directamente por los productores, quienes nos platican sus experiencias, así como la importancia que para ellos representa el manejo sustentable del bosque y la forma en que se organizan para aprovecharlo, además de asistir a las áreas de aprovechamiento y en ocasiones participar en algunas actividades. Para tener una idea general de las actividades realizadas por los grupos, se presenta el siguiente programa de actividades en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Programa de actividades con el Grupo 1 de Propedéutico en el Ejido Peñuelas Pueblo Nuevo, Chignahuapan, Puebla

Sábado 21 de mayo 2016	
Horario	Actividades realizadas
11:30 – 12:30	Descripción del aserradero, su funcionamiento, maquinaria y productos.
12:30 – 13:00	Visita y explicación sobre el Huerto clonal de <i>Pinus patula</i> .
13:00 – 14:00	Visita al Huerto semillero
14:00 – 16:00	Visita a Vivero y Laboratorio de semillas, explicación sobre funcionamiento e importancia.
16:00 – 17:00	Reconocimiento de un Banco de Germoplasma Forestal y equipo usado.
17:00 – 19:00	Comida
19:00 – 20:30	Platica sobre organización comunal para el aprovechamiento forestal.
20:30 – 21:30	Cena
21:30	Alojamiento en la comunidad
Domingo 22 de mayo 2016	
07:30 – 09:00	Almuerzo
09:00 – 12:30	Visita bosques bajo aprovechamiento forestal sustentable
12:30 – 13:45	Práctica de medición forestal
13:45 – 15:30	Recorrido por el Área Eco turística y sendero didáctico.
16:00 – 17:00	Comida
17:00 – 19:00	Visita a Piedras encimadas
19:30 – 21:00	Reunión de conclusiones con autoridades ejidales
21:00 – 21:45	Cena
21:45 – 10:00	Alojamiento en la comunidad
Lunes 23 de mayo 2016	
07:00	Salida de la comunidad

Fuente: Programación oficial del Viaje de Estudios Integrador II. Año 2016. Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo

Además del reconocimiento de las empresas con las que se cuenta, en cada comunidad se da una plática sobre la organización de la comunidad para el aprovechamiento forestal sustentable, donde explican lo que representa para ellos el bosque y su organización comunal. Se visitan las empresas con que las que cuentan, donde se explican las características de cada una de ellas. Se realizan recorridos por los bosques bajo manejo forestal, visitando predios con diferentes tratamientos de manejo forestal, plantaciones y regeneración en diferentes etapa. Se visitan los proyectos eco turísticos. En ocasiones los estudiantes se han incorporado actividades sencillas como poda de árboles, llenado de envases para producción de plántula. Con ello se conoce desde la producción de plántula para la reforestación, hasta la transformación, de los arboles cosechados, en productos primarios como la madera aserrada. Como parte del curso se realiza una práctica de medición forestal para determinar las existencias volumétricas de madera en rollo por hectárea, que existe en los bosques de las comunidades

Con todas las actividades anteriores se demuestra la forma en que se realiza el aprovechamiento forestal sustentable y diversificado de los bosques, entendiendo al cultivo del bosque como cualquier otro cultivo agrícola, con prácticas y cuidados a los árboles, la diferencia es en los años necesarios para la cosecha. Al finalizar las visitas se realiza una reunión final del grupo con las autoridades ejidales o comunales, con la finalidad de aclarar dudas, verter opiniones y conclusiones el aprovechamiento del bosque y la organización comunal, en ocasiones los estudiantes comparan la comunidad visitada con la situación en que se encuentra la comunidad de donde son originarios y manifiestan su intención de ser promotores de la organización para aprovechar de forma sustentable los recursos naturales que poseen esas comunidades.

## 2.3 Conclusiones de los estudiantes

A continuación se presentan algunas de estas opiniones extraídas de los reportes que cada grupo entrega al final del viaje como parte de la evaluación.

### 2.3.1 Opiniones sobre el Ejido Peñuelas Pueblo Nuevo de Chignahuapan, Puebla

Comentarios de estudiantes del grupo 12 de tercer año, 2015.

- En esta comunidad los recursos forestales son la principal fuente de empleos tanto temporales como permanentes, reduciendo así la emigración de su gente, provocando un mejor desarrollo del pueblo no solo en lo económico sino también en lo social, facilitando la toma de decisiones por la confianza que hay entre ellos.
- Aquí buscan mejorar su industria aprovechando el dinero que les otorgan los programas gubernamentales a los que están inscritos, así como sus propios recursos que en conjunto generan, logrando grandes avances como un vivero eficiente, un banco de germoplasma mecanizado y un aserradero sostenido.
- Están bien organizados, coordinados y administrados. Tienen un buen asesoramiento técnico en lo forestal, pero insuficiente en otro tipo de explotaciones (agrícola y agropecuaria) y aunque creemos que está bien que vayan a la segura, pues han aprendido de sus errores, están muy apegados a lo que hacen que no quieren hacer cosas distintas.
- Con esta gran experiencia que se tuvo en este ejido es emocionante ver la organización de la gente y ahí se muestra el trabajo en equipo y que se obtienen buenos resultados trabajando de esa manera.

Comentarios de estudiantes del Grupo 1 de Propedéutico, Año 2016.

- El recorrido por este ejido nos hace comprender el uso adecuado que se debe realizar en un aprovechamiento forestal sustentable.
- Los ejidatarios nos orientan a que regresemos a nuestras comunidades y lograr hacer algo benéfico para ellas sin necesidad de perjudicar nuestra naturaleza aprovechando pero de manera sustentable.
- Una opinión general fue la buena organización de los ejidatarios, ya que gracias a ella han podido desarrollarse en el ámbito forestal, se han posicionado en un buen lugar, con sus diversas instalaciones principalmente con sus viveros y el bosque de manejo y aprovechamiento forestal, además de que en la comunidad se ve el apoyo que se brindan unos a otros, y todo eso gracias a su ideas positivas y futuristas.

Comentarios de estudiantes del grupo 6 de Propedéutico, año 2016.

- Todo lo que tiene este lugar fue logrado a base de su organización de los ejidatarios y del pueblo, es un gran ejemplo de que las cosas con organización se pueden lograr y que aparte se tenga un buen conocimiento de la mejor manera de aprovechar las cosas.

- En el recorrido que nos dieron en el bosque observamos la conservación que le dan al bosque, la reforestación que realizan además de los trabajos que realizan para evitar incendios haciendo brechas corta fuego y construcción de una torre de vigilancia. Algo muy importante con lo que posee el ejido es el nacimiento del agua en bosque, y que abastece a tres poblados y al ejido además de utilizarlo para la producción de plántula, cabe mencionar que no cuenta con contaminación, tienen varios lugares para hacer un proyecto eco turístico.
- Como ya se los mencionaba anteriormente tenemos reuniones por la noche con los ejidatarios los cuales nos complementan las visitas que hacemos, pero esta vez estuvo muy bien enriquecida la junta pues nos pidieron nuestros puntos de vista, opiniones, evaluación general y posibles mejoras, estas gentes eran personas muy amables y toda la junta se llevó a cabo de la mejor manera, con decirles que hasta nos invitaron en diciembre que se hace la fiesta, y también nosotros les hicimos saber muchas observaciones que notamos algunas mínimas pero que eran de suma importancia para la conservación de su bosque, y también muchos de los compañeros concordamos con que es necesario obtener más recurso de este bosque para poder sacar el mayor provecho así que dimos nuestro punto de vista sobre realizar un proyecto eco turístico donde se beneficiaran tanto los pobladores como su bosque y de esta manera obtendrían absolutamente todo lo que les falta.
- Lo importante de aquí fue que se tiene un buen cuidado en cuanto a las plantaciones y también de que se tiene un cuidado en cuanto a los programas de protección ambiental ya que estos tienen o cuentan con una gran cantidad de mantos acuíferos y de que ellos piensan aprovecharlos para envasar el agua y que también lo bueno fue preguntar por los programas que quieren aplicar en cuanto al ecoturismo ya que es un lugar muy bueno para practicar el senderismo y el ecoturismo ya que cuentan con una gran cantidad de vistas a los valles y tienen riscos.
- La gran organización de este ejido me pareció verdaderamente admirable ya que en grupos pequeños para organizarse es muy difícil en cambio ellos lo han logrado y para bien, ya que hoy en día cuentan con grandes proyectos que están llevando a cabo y que beneficia a gran cantidad de personas de la misma comunidad como su aserradero que ahí mismo elaboran rejas y pude darme cuenta que las personas que las elaboraban era niños y mujeres, al igual que sus huertos que están en buenas condiciones, y qué decir del vivero que tiene gran capacidad y se encuentra bien equipado, además de su laboratorio y banco de germoplasma que cuenta con lo necesario para llevar a cabo sus procesos.

### **2.3.2 Opiniones sobre la comunidad de San Pablo Maculanguis, Oaxaca**

Comentarios de estudiantes grupo 4 de Propedéutico, 2014.

- El viaje resulto para el grupo bastante enriquecedor ya que se realizaron prácticas de campo que complementaron los conocimientos adquiridos durante el curso, por otra lado se conoció una parte de la realidad del campo y los problemas a los cuales nos vamos a enfrentar como futuros agrónomos.
- El pueblo se encuentra en una forma de organización muy bien planificada, ya que pudimos observar el avance que han tenido últimamente como por ejemplo el premio que obtuvieron de organización forestal a nivel nacional. Eso nos habla del buen manejo y el trabajo tan apasionado que están organizando tanto las autoridades como los ciudadanos de este lugar. Además de la infraestructura en la que estas invirtiendo en el lugar, e pueden observar las ganas de que la sociedad de este lugar pueda desarrollarse tanto culturalmente como el trabajo físico.

- El pueblo de San Pablo Macuilianguis comienza una nueva etapa en crecimiento, conservación de culturas y rescate de su lengua, lo cual resulta admirable y reconocible. Por ello las personas están trabajando conjuntamente para sacar adelante este municipio que podría llegar a ser más grande y enriquecedor.
- La importancia de esto reside en que la gente que ahí habita ha aprendido a valorar sus recursos y a utilizarlos de manera conveniente, siempre tomando en cuenta que es su manera de subsistir y manejo sustentable.

## 2.4 Conclusiones

La silvicultura comunitaria es la opción más viable para aprovechar en forma sustentables los bosques y selvas, de donde las comunidades forestales pueden obtener recursos para fomentar su desarrollo social económico. Los viajes y prácticas de estudio son una de las formas idóneas para vincular la universidad con las comunidades y sus procesos de producción social y económica. Los estudiantes se motivan al conocer la organización de las comunidades que ha permitido el aprovechamiento sustentable de los bosques. Con ello se contribuye a su formación profesional y humanística.

## 2.5 Referencias

Bastida Tapia, Aurelio y Reyes Ramírez David Saúl. (2014). Propedéutico 4. Viaje de Estudios Integrador III. Ruta: Oaxaca- Veracruz

Bastida Tapia, Aurelio y Reyes Ramírez David Saúl (2016). Viaje de Estudios Integrador II. Propedéutico 1. Departamento de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo.

Flores Escobar, Georgina y García Vázquez, Ramiro. (2016). Reporte final del Viaje de estudios, Oaxaca – Veracruz. Propedéutico 8. Departamento de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo.

Gerez Fernández, Patricia y Purata Velarde Silvia E. 2008. Guía práctica forestal de silvicultura comunitaria. Comisión Nacional Forestal. <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/silvicultura>.

Reyes Ramírez David Saúl y Bastida Tapia. 2016. Reporte viaje de estudios Integrador II. Propedéutico 6. Departamento de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo.

Ponencia. 2014. Silvicultura comunitaria en la comunidad de San Pablo Macuilianguis, Ixtlán, Oaxaca.

CONAFOR. <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/silvicultura-comunitaria/>, fecha de consulta: 14/07/2016

**La germinación de semilla de *Hibiscus sabdariffa* L. es inhibida específica y contundentemente por una cepa de *Pseudomonas fluorescense* (PGPR)**

CARRILLO-CASTAÑEDA, Guillermo

G. Carrillo

Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Km. 36.5 Carr. Fed. México-  
Texcoco. Montecillo, Municipio de Texcoco, Méx. 56230. México  
carrillo@colpos.mx

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.-  
©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

Fluorescent *Pseudomonas* (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), are interesting microorganisms by the multiple compounds they synthesized associated with plant roots. As they promote the development of plants, they have been widely used to increase agricultural production. A group of 19 fluorescent *Pseudomonas* strains was studied. Cultures of E14, Sm and T16 strains promoted 6% seed germination of *S. lycopersicum*, and the rest of them showed slight variations. The strain A9 promoted 23% seed germination of *C. annuum* but the strains Avm and Pf slightly inhibited it (14 %). The strain T16; however, was the strain tested, which specifically inhibited seed germination of *H. sabdariffa* up to 72 %. In this paper, we demonstrate clearly and forcefully that microorganisms PGPR also interfere essential functions of plants, such as impairment of seed germination.

## 3 Introducción

México es uno de los principales productores del cultivo de *Hibiscus sabdariffa* L. (Malvaceae), conocida popularmente como Jamaica, que se ha adaptado principalmente a las zonas tropicales y subtropicales del mundo. El cultivo de Jamaica es ampliamente conocido ya que es utilizada para preparar una bebida refrescante pero, en la actualidad la industria de alimentos, por la utilidad que tienen sus ácidos y pigmentos ya la usan para la elaboración de otras bebidas como el té, vinos, en la preparación de jaleas, jarabes, dulces, mermeladas, postres, salsas etc. además de servir para la coloración de embutidos y como aditivo natural para mejorar el aspecto y sabor de estos. *H. sabdariffa* es cultivada en México en una superficie aproximada de más de 18 000 ha, siendo los estados de Guerrero, Oaxaca, Nayarit, Michoacán, Campeche, Colima, Jalisco y Sinaloa los principales productores (INEGI, 2004).

Ciertos microorganismos del suelo llevan a cabo transformaciones importantes de los componentes inorgánicos y orgánicos que pueden impactar en la nutrición de los cultivos y, algunos de ellos se asocian a las raíces de la planta. El estudio de estas interacciones planta-microorganismo es de mucho interés, desde el punto de vista ecológico (Chanway, Turkington, Holl, 1991, p. 121) y por los beneficios prácticos que pueden acarrear tanto a nivel del desarrollo de la planta como en la calidad del producto de la Jamaica. Las células bacterianas, para establecer una asociación con la raíz de la planta pueden tener alta o poca especificidad para llevar a cabo esta asociación, ya que se ha demostrado que, en ciertos casos, la composición de los consorcios microbianos asociados a las plantas son altamente específicos y que las interacciones que ocurren son el resultado de un reconocimiento recíproco entre todos los componentes, a nivel de la rizosfera de las plantas. La primera fase de reconocimiento o acoplamiento entre el microbio y la planta es una unión débil, reversible e inespecífica en la que, ciertas lectinas de la planta así como proteínas bacterianas asociadas con  $\text{Ca}^{+2}$  (rhicadhesina) y polisacáridos superficiales bacterianos entran en juego. En la segunda etapa del acoplamiento, es requerida la síntesis bacteriana de fibrillas de celulosa para construir una sólida e irreversible asociación con la raíz de la planta (Rodríguez-Navarro, Dardanelli, Ruíz-Sáinz, 2007, p.127). Algo semejante debe ocurrir durante el establecimiento de la interacción entre *Pseudomonas* fluorescentes-*H. sabdariffa* y, en alguna de estas etapas debe establecerse la especificidad de dicha interacción.

Las *Pseudomonas* fluorescentes son un grupo muy interesante de microorganismos, porque sintetizan múltiples compuestos y, posiblemente otros que en la actualidad no han sido descubiertos. Estos microorganismos han sido ampliamente utilizados para incrementar la producción agrícola, por las múltiples funciones de despliegan las células bacterianas asociadas a las raíces de las plantas. El objetivo fundamental es mejorar las condiciones de los cultivos en el campo, para incrementar los rendimientos de los mismos.

Han sido descritas maneras diversas mediante las cuales este tipo de microorganismos promotores del desarrollo vegetal pueden directamente facilitar a la planta su desarrollo (Glick, 2010, p. 367), las que incluyen: La producción de reguladores del desarrollo vegetal (García de Salamone, Hynes, Nelson, 2005, p.173), particularmente el ácido indolacético (AIA) que según Glick (1995, p. 109) es el compuesto más importante de las auxinas. El ácido indolacético sintetizado por las bacterias estimula la formación de muchas raíces adventicias y hace que las raíces primarias se alarguen (Patten, Glick, 2002, p. 3795). El ácido indolacético es sintetizado por las bacterias a partir del aminoácido L-triptófano, el cual se encuentra en los exudados de las raíces dependiendo del genotipo de la planta huésped (Kamilova, Kravchenko, Shaposhnikov, Azarova, Makarova, Lugtenberg, 2006, p.250) El ácido indolacético bacteriano estimula la formación de muchas raíces adventicias y hace que las raíces primarias se alarguen (Patten, Glick, 2002, p. 3795). La producción de ciertos antibióticos como el 2,4-diacetilfloroglucinol (PHL), pioluteorina (PLT), pirrolnitrina, y fenazina-1-carboxilato interfieren el desarrollo de microorganismos (Thomashow, Weller, 1996, p. 187). En ciertas condiciones, los antibióticos fortalecen las habilidades y aptitudes ecológicas de estos microorganismos en la rizosfera, lo que permite la eficacia de los sistemas de control biológico de estos microorganismos por períodos de tiempo prolongados (Mazzola, Cook, Thomashow, Weller, Pierson, 1992, p. 2616). La capacidad de síntesis de sideróforos que secuestran el hierro del suelo, particularmente cuando este es escaso en el medio, y lo transfieren a la planta mediante el complejo ferro-sideróforo (Hernández, Rives, Caballero, Hernández, Heydrich, 2004, p. 6). La reducción del hierro de la rizosfera mediante los sideróforos, entre ellos el ácido salicílico, la piochelina, y la pioverdine, al tener la habilidad de formar complejos con el hierro y otros metales, también contribuyen en la protección de la planta frente a microorganismos patógenos, retirando el hierro y otros minerales del medio (Hofte, Boelens, Verstraete, 1992, p. 2253; Loper, Henkels, 1997, p. 99). Los sideróforos y los antibióticos también participan en las respuestas de la planta ante condiciones de estrés, induciendo la resistencia sistémica y local en la planta (Leeman, Den Ouden, Van Pelt, Dirx, Steijl, Bakker, Schippers, 1996, p. 149). La inducción de la resistencia sistémica inducida mediante la acción del ácido salicílico. La producción de enzimas capaces de lisar la pared celular de ciertos hongos (Ramyasmruthi, Pallavi, Pallavi, Tilak, Srividya, 2012, p. 16). La competencia por los sitios de asociación de las células bacterianas con la raíz (Glick, 1995, p. 109; Glick, Todorovic, Czarny, Cheng, Duan, McConkey, 2007b, p. 227). La capacidad de solubilizar elementos y hacerlos útiles para la planta, ya que algunas solubilizan el fosfato inorgánico transformándolo a ortofosfato, que es una forma asimilable para las plantas. Muchas bacterias solubilizan rocas y minerales esenciales para el crecimiento de la planta vía producción de numerosos ácidos orgánicos (Babana, Antoun, 2007, p. 51). La capacidad de síntesis de la enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) deaminasa, que baja los niveles de etileno en la planta (Glick, Cheng, Czarny, Duan, 2007a, p. 329; Glick, Todorovic, Czarny, Cheng, Duan, McConkey 2007b, p. 227). La capacidad de fijar el nitrógeno que puede ser utilizado por la planta aunque, esta función, juega un papel poco importante.

En dichos microorganismos del suelo, como ya se ha dicho, han sido identificadas esa serie de expresiones importantes mediante las cuales pueden afectar indirectamente y directamente el desarrollo de cultivos, comúnmente mediante la interacción de expresiones de varias de ellas que, además, pueden impactar a la planta en etapas fenológicas distintas de (Glick, 2010, p. 367), desde la etapa previa a la germinación de la semilla (en ausencia de la raíz) y de la germinación en adelante, pues el consorcio de microorganismos va a permanecer asociado a la raíz mientras tenga el soporte de los nutrientes con lo que contribuye la planta. Cuando la semilla es de óptima calidad y los cultivos son desarrollados en condiciones favorables (tanto ambientales, de nutrición así como fitosanitarias) y, por lo tanto, no experimentan condiciones de estrés, las expresiones de estos microorganismos no causan los efectos positivos significativos en la planta.

Es muy posible que otras expresiones importantes de estos microorganismos estén por descubrirse en la medida en que las condiciones ambientales actúen como señales para inducirlos (Almeida da Silva, Amazonas de Almeida, 2006, p. 411; King, Campbell, Eagles, 1948, p.514), y como ejemplo, los organismos deben actuar en relación con los efectos del calentamiento global que se están manifestando, según los especialistas, más rápido de lo que se esperaba. El fenómeno del calentamiento global es uno de los temas principales consignados en el informe de la reunión “Previsión Medioambiental Global” (GEO-6), presentado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en Nairobi, Kenia, en Mayo de 2016 cuando fue celebrada la Asamblea Medioambiental.

El estudio de estas interacciones planta-microorganismo entre *H. sabdariffa* y ciertas cepas microbianas de *Pseudomonas* fluorescentes son de mucho interés, por los beneficios que pueden acarrear ahora y en el futuro, a nivel del desarrollo de la planta pero, más aún, en la calidad del producto del cultivo de la Jamaica. Por lo tanto, el objetivo del trabajo presente es determinar la capacidad que tienen este tipo de células bacterianas de promover o de inhibir el proceso de la germinación de la semilla, cuando la raíz prácticamente está ausente o en estado inicial de su desarrollo (que puede ser una manera de estudiar la especificidad de las células bacterianas para interactuar con la semilla posiblemente antes de colonizar las raíces) y en el desarrollo temprano de las plántulas de Jamaica.

### 3.1 Materiales y Métodos

**Materiales.** Semilla de *H. sabdariffa* cv Criolla, colectada en los municipios de Tecoaapa y Ayutla en el estado de Guerrero, de la cosecha del año 2011 y semilla de la cruce de *H. sabdariffa* roja x *H. sabdariffa* morada colectada en Tzicatlán, Puebla en el año 2014. Semilla de *Solanum lycopersicum* var. Rio grande (jitomate) y de *Capsicum annum* (chile Habanero). Aislamientos bacterianos de *Pseudomonas* fluorescentes: A7, A9, A9m, Avm, E2, E5, E14, T1, T12, T16, T20, T47, Sv, Pf, Pp, Sm y U

**Métodos.** Preparación de los cultivos bacterianos. En cajas Petri de vidrio con medio sólido B de King (BK), células de cada uno de los aislamientos fueron estriadas para incubarlas durante 48 h a la temperatura de entre 26 y 28 °C.

**Preparación de las suspensiones bacterianas.** De cada uno de los cultivos, una muestra de células fue transferida con un asa bacteriológica a tubos de vidrio estériles de 12 cm de longitud por 1.5 cm de diámetro con 6 mL de agua destilada estéril. Las suspensiones bacterianas generadas así se ajustaron a una turbidez de 0.4 de absorbencia a 660 nm. De estas suspensiones bacterianas 100 µL fueron usados para inocular 15 mL de medio de cultivo preparados en matraces de 50 mL de capacidad. Los cultivos fueron incubados a la temperatura de entre 26 y 28 °C de 24 a 96 h, según sea indicado. Al término del período de incubación, la turbidez de cada uno de los cultivos fue ajustada a 0.9 a 660 nm para inocular las semillas en estudio.

**Inoculación de la semilla.** Lotes de 100 semillas (tres por cada condición experimental) de *S. lycopersicum*, de 25 semillas de *H. sabdariffa* cv Criolla o de la cruce de *H. sabdariffa* roja x *H. sabdariffa* y de 25 semillas de *Capsicum annum* fueron colocadas en cajas Petri de vidrio de 50 mm de diámetro para ser mezcladas con 3.5 mL de suspensión bacteriana y así permanecieron durante 60 min. Posteriormente, la semilla sin el caldo bacteriano fue transferida a cajas Petri de plástico colocadas sobre dos hojas de papel toalla (toalla interdoblada blanca, GP–Georgia Pacific), en cajas Petri de plástico de 90 mm de diámetro y 9 mm de alto y humedecida con 3.5 mL de agua destilada estéril.

Incubación de la semilla. La semilla fue conservada en una cámara de germinación en la oscuridad a la temperatura de  $28\pm 2$  °C por el tiempo indicado en cada caso.

Determinación de la germinación. La germinación fue determinada diariamente o a los tiempos indicados en cada caso y, la semilla se consideró germinada cuando la punta de la raíz fue visible.

Determinación del vigor. Plántulas fueron seleccionadas de cada caja Petri, de 10 días a partir del tiempo 0. El tallo fue separado la raíz y las muestras fueron secadas a temperatura ambiente durante 48 horas y luego en una estufa ajustada a 70 °C donde permanecieron durante 72 horas para posteriormente determinar el peso de cada muestra en una balanza de precisión Mettler.

Los resultados de germinación se expresan como promedio y los del peso de las raíces y parte aérea de las plántulas se expresan como promedio de peso (mg).

### 3.2 Resultados y discusión

Estrategias, características de resistencia y mecanismos de defensa que exhiben los cultivos son estudiados fundamentalmente en las plantas adultas y, no se presta importancia al estudio de éstos a nivel del proceso de la germinación de la semilla (Rajjou, Belghazi, Huguet, Robin, Moreau, Job, Job, 2006, p. 910), lo cual puede deberse a que el proceso de germinación es una etapa muy temprana en el ciclo de vida de la planta y, aún no se establecen las relaciones entre la planta y sus órganos con los agentes causales de beneficios y de agresiones. A pesar de esto, es importante determinar en esta etapa temprana, las funciones esenciales de la semilla, como la germinación, que puedan alterarse por las condiciones del ambiente que, determinan las expresiones y funciones de la semilla que culminan en la germinación o, en la incapacidad para llevarla a cabo. Se afirma entonces que en el ciclo de vida de las plantas, la manera en que la semilla lleve a cabo sus funciones, condicionan hasta el rendimiento de los cultivos (Bewley, Black, 1994, p. 445; Finch-Savage, Bassel, 2016, p. 567). Este postulado se basa en que, en la medida en que la germinación de la semilla como el establecimiento del cultivo en el campo se lleve a cabo de manera rápida, porque ambos son factores críticos para la producción agrícola, particularmente cuando estos se desarrollan en condiciones de estrés como la salinidad (Ashraf, Foolad, 2005, p. 223). En relación con las interacciones planta-microbio, esta etapa es muy importante en el proceso de reconocimiento, infección y establecimiento de la colonización de las raíces de las plántulas por los microorganismos, donde entra en juego también su capacidad, entendida también como especificidad de las células microbianas para llevar a cabo la infección de la semilla directamente o de las radículas, al momento de la germinación. De esto dependerá la estructura y el tipo de desempeño que tendrá el consorcio microbiano que se establezca en la rizosfera, para beneficio o perjuicio de la planta. El acoplamiento o enganche de los microbios del suelo a la raíz (especificidad, compatibilidad o coexistencia) está definida anticipadamente por la especie de planta, su genotipo y cultivar. El enganche de los microbios, previo al establecimiento de la colonización propiamente dicha, pudiera ocurrir directamente en la superficie de la semilla para culminar con la infección del sistema radical. Cuando la semilla es inoculada de manera artificial con un único tipo de células “compatibles” y la semilla inoculada es llevada al campo, es factible que dichas células bacterianas tengan ventaja para establecer la colonización de las raíces, en relación con las poblaciones bacterianas nativas.

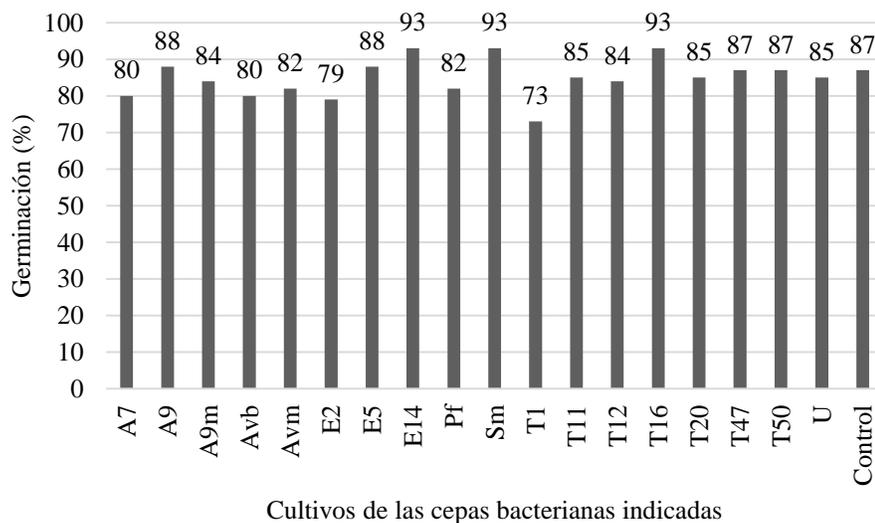
El caso de la semilla de Jamaica es importante, desde el punto de vista de su rápida germinación que, en menos de 24 h comienza la germinación y ya para las 48-72 h toda la semilla viable ha germinada. Otras semillas, como la de *C. annuum*, requieren unas 3 semanas para germinar o la semilla de *S. lycopersicum* que inicia la germinación a los 2 ó 3 días.

En otras palabras, el contacto de las células microbianas con la semilla es muy corto antes de la germinación, para ejercer alguna acción. Una vez que la raíz emerge, debe llevarse a cabo el reconocimiento planta bacteria que puede culminar en la colonización de las raíces por las células microbianas. No podemos definir hasta ahora, que funciones en el proceso de la germinación pudieran ser interferidos por el sobrenadante de medio gastado o por las células que se encuentran en contacto con la superficie de la semilla. Sabemos que el ácido absísico, producido por la planta, es un regulador del desarrollo vegetal y actúa preferentemente como un potente inhibidor de la germinación. Los sideróforos, producidos por las bacterias, forman complejo con el ion férrico “retirando” este precioso elemento de la circulación, impidiendo que otros microorganismos lo puedan adquirir y por tanto su desarrollo se ve interferido, pues el hierro es requerido por prácticamente todos los organismos, al participar en funciones importantes de las células a veces asociado a enzimas que catalizan reacciones importantes.

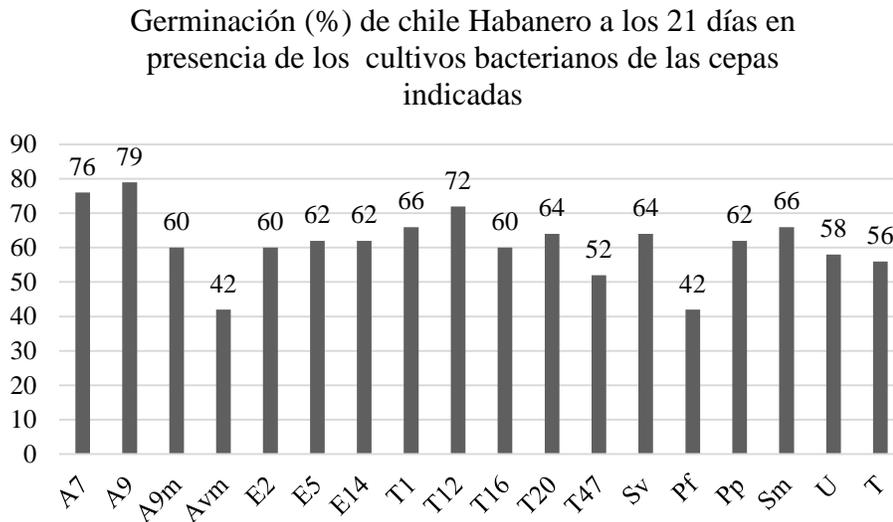
La capacidad de germinación de la semilla de *S. lycopersicum* var. Rio grande al llevarse a cabo en presencia de los cultivos bacterianos de las cepas indicadas, presentó ligeras variaciones como puede verse en el Gráfico 3, siendo el promedio general de 85. Los cultivos E14, Sm y T16 la promovieron 6 %, mientras que T1 y E2 la redujeron ligeramente, 8 y 14 % respectivamente, en relación con la semilla sin inocular (control).

Las *Pseudomonas* fluorescentes son, por excelencia, promotoras del desarrollo vegetal y pueden interaccionar con la semilla de varias maneras posiblemente desde la etapa pre-germinativa, facilitando o retirando el hierro disponible mediante la acción de los sideróforos que, de acuerdo a las condiciones ambientales, pueden ser generados y acumulados por estos microorganismos, y esto puede impactar directamente en el proceso de la germinación. Al repetir este experimento pero con semilla de *C. annum*, la capacidad de germinación, como puede verse en el Gráfico 3.1, también presentó ligeras variaciones siendo el promedio general de 61. Las células del cultivo A9 promovieron 23 % la germinación pero, Avm y Pf la redujeron únicamente 14 % en relación con la semilla que no fue inoculada (control).

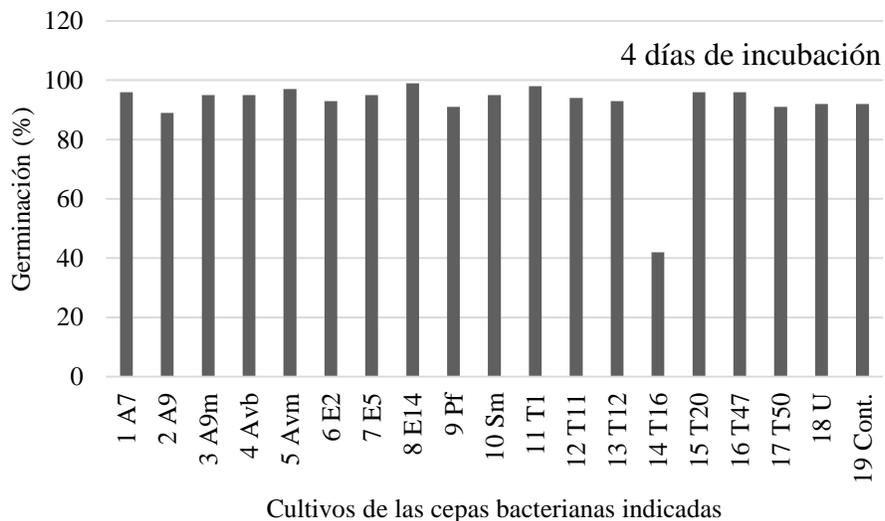
**Gráfico 3** Germinación de semilla de *S. lycopersicum* var. Rio grande en presencia de los cultivos celulares de las cepas indicadas. Los cultivos bacterianos de 24 h de incubación fueron desarrollados en el medio líquido BK



**Gráfico 3.1** Germinación de semilla de *C. annuum* (chile Habanero) en presencia de los cultivos celulares de las cepas indicadas. La germinación fue registrada a los 21 días y los cultivos bacterianos fueron desarrollados durante 24 h en el medio líquido BK



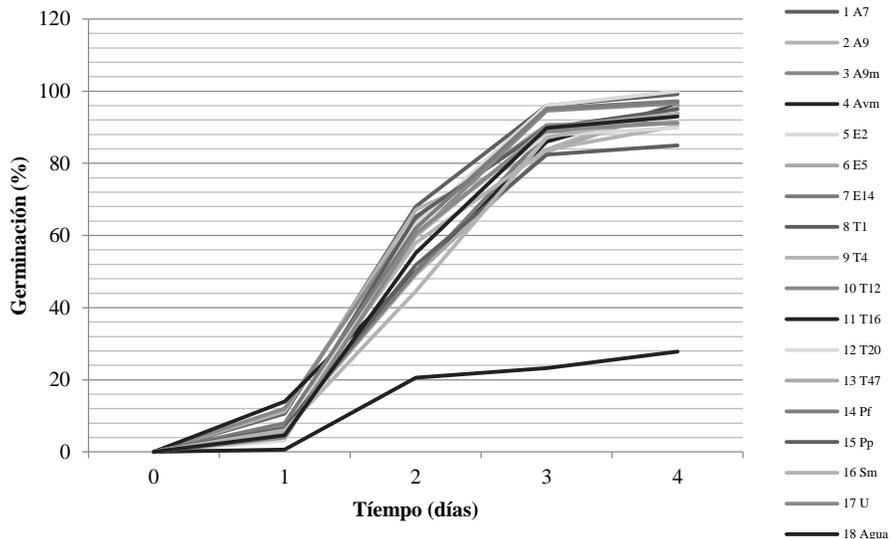
**Gráfico 3.2** Germinación de semilla de *H. sabdariffa* cv Criolla en presencia de los cultivos celulares de las cepas de *Pseudomonas* fluorescentes indicadas, registrada a los 4 días de incubación



La germinación de la semilla de *H. sabdariffa* cv Criolla en presencia de los cultivos celulares de las cepas de *Pseudomonas* fluorescentes indicadas, que son por excelencia promotoras del desarrollo vegetal, arrojó un resultado sorprendente: El cultivo de la cepa T16 inhibió, al menos, 51 % la germinación, en relación con la germinación exhibida por la semilla control, registrada a los 4 días, resultado que se muestra en el Gráfico 3.2. Este experimento se ha realizado de la forma descrita al menos dos veces y los resultados son altamente reproducibles, como se muestra en el Gráfico 3.3, donde se aprecia que la semilla inoculada con el cultivo T16 únicamente germinó 28 %, la semilla inoculada con el cultivo Pp 85 % y, el resto de las semillas inoculadas, germinaron de 93 a 100 %.

La germinación de la semilla de *H. sabdariffa* de la cruza de *H. sabdariffa* roja x *H. sabdariffa* morada, en presencia de los cultivos de las cepas de *Pseudomonas* fluorescentes A7, T16 y Avm, en experimento llevado a cabo de acuerdo a los experimentos realizados con la semilla de *H. sabdariffa* cv Criolla, fue de 76, 32 y 65 % respectivamente, resultados que confirman plena y contundentemente que el cultivo T16 es capaz de inhibir la germinación de la semilla de *H. sabdariffa* cv Criolla y de la semilla de *H. sabdariffa* de la cruza de *H. sabdariffa* roja x *H. sabdariffa* morada. Estos resultados, que son muy interesantes a la vez que importantes, confirman plenamente el comportamiento específico del cultivo T16: De manera selectiva promueve significativamente la germinación de la semilla de *S. lycopersicum* var. Rio grande (Gráfico 3) y de la semilla de *C. annuum* (Gráfico 3.1) pero inhibió alrededor de 51 % la germinación de la semilla de *H. sabdariffa* cv Criolla en un experimento (Gráfico 3.2) y en otro 72 % (Gráfico 3.3). También es importante indicar que los llamados “microorganismos promotores del desarrollo vegetal” también son capaces de interferir funciones importantes, como la germinación y, debido a esto, es recomendable, demostrar que al inocular algún tipo de semilla con células bacterianas, las bacterias promueven sus funciones esenciales.

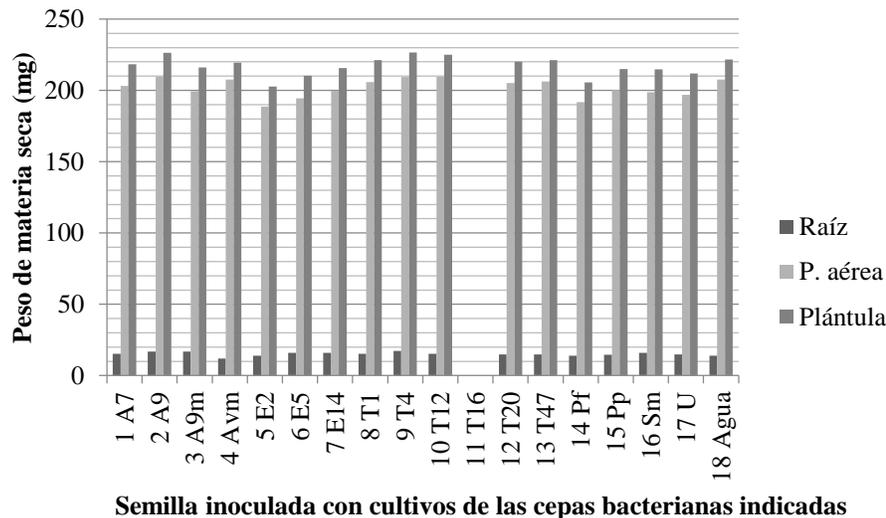
**Gráfico 3.3** Germinación de la semilla de *H. sabdariffa* cv Criolla en presencia de los cultivos de las cepas de *Pseudomonas* fluorescentes indicadas



En el vigor que presentaron las plántulas de *H. sabdariffa*, determinado por el peso de materia seca de la raíz, la parte aérea y la plántula completa, como se muestra en el Gráfico 3.4, nuevamente no muestra grandes diferencias. El peso de las plántulas secas en la mayoría de los casos fue muy cercano a los 225 mg y únicamente la semilla inoculada con los cultivos E2 y Pf tuvieron menor peso pero ligeramente superior a los 200 mg. En el caso de la semilla inoculada con el cultivo de la cepa T16, los resultados no se muestran porque las plántulas, cuando ya existían eran tan pequeñas, que no fue posible determinar el peso de las muestras. El peso de materia seca a esta etapa, es utilizado para determinar el vigor de la semilla. La información que se presenta representa en esta parte del trabajo, en gran medida, está indicando el potencial de la semilla para soportar el desarrollo temprano de la plántula y no, el aporte que pueden proporcionar las células bacterianas en este estado del desarrollo de las plántulas. Por esta razón, no se pueden esperar grandes diferencias del peso de la biomasa seca.

En este trabajo se quiere llamar la atención, fundamentalmente, en el descubrimiento de la capacidad inhibidora del cultivo de la cepa T16, que es específica para la especie *H. sabdariffa*, afectando por igual a dos variedades: a la semilla del cv Criolla como a la semilla de la cruce de *H. sabdariffa* roja x *H. sabdariffa* morada. Esta capacidad se presenta de manera clara y contundente por la magnitud de la inhibición que ejerce el cultivo de este microorganismo así como por la reproducibilidad del fenómeno. Al momento no se puede explicar qué mecanismo está en juego. Finch-Savage y Bassel (2016) consideran que es el vigor de la semilla responsable de que esta germine así como del establecimiento de las plántulas rápida, uniforme y robustamente en condiciones ambientales adversas. Sin entrar en detalles, entonces, el cultivo bacteriano T16 debe afectar directa y específicamente la condición de vigor de la semilla de *H. sabdariffa*. Para investigar este aspecto tan interesante, la investigación está avanzando de acuerdo al diseño de una serie de experimentos para tratar de aclarar el mecanismo involucrado, haciendo las consideraciones siguientes. La germinación de la semilla de *H. sabdariffa* en presencia del cultivo bacteriano T16 en el medio de imbibición, es inhibida de manera considerable considerablemente.

**Gráfico 3.4** Determinación del vigor que presentaron las plántulas de *H. sabdariffa*, determinado por el peso de materia seca de la raíz, la parte aérea y de la plántula completa



En la raíz de la planta, específicamente en la rizosfera, se establece un consorcio de microorganismos, donde se acumulan ciertos compuestos químicos que son generados tanto por la planta como por los microorganismos y las características de dichos compuestos también dependen del microambiente. En ese lugar se llevan a cabo procesos importantes de transformación de compuestos químicos (degradación y modificación) y, por tanto, se generan compuestos que actividad biológica. También se considera que, este fenómeno de inhibición de la germinación se presenta antes de la emergencia de la raíz. Consideramos entonces, que debe tratarse de una sustancia de peso molecular relativamente bajo excretada por el microorganismo, capaz de internarse en la semilla y con capacidad para modificar alguna proteína o inhibir la función de alguna enzima que trae como resultado la incapacidad de germinación de la semilla. El compuesto o el proceso en cuestión no debe ser muy general debido a que la inhibición se presentó únicamente en la semilla de *H. sabdariffa* pero no en la semilla de *S. lycopersicum* var. Rio grande ni en la semilla de *C. annum*.

Así como existen mecanismos para “incentivar” las potencialidades heredadas de la semilla, relacionadas en particular, con la velocidad de germinación como con el porcentaje de germinación, también es factible confrontar o desafiar a la semilla, sometiéndola a condiciones desfavorables durante la etapa de germinación y de la misma forma, determinar en esas condiciones la capacidad como la velocidad de germinación como criterios para explicar los mecanismos y estrategias que la semilla pone en juego para hacer frente a tales condiciones adversas. Como ya se ha indicado, las estrategias y mecanismos de defensa de los cultivos son estudiados fundamentalmente en las plantas adultas y muy poca información existe acerca del comportamiento y de los mecanismos de defensa al nivel de la etapa de la germinación de la semilla (Rajjou, Belghazi, Huguet, Robin, Moreau, Job, Job, 2006, p. 910) y, por tanto, este tipo de enfoques debe ser promovido.

### 3.3 Conclusiones

Existe como pronunciamiento que, las expresiones que los microorganismos promotores del desarrollo vegetal, (PGPR) llevan a cabo, están “encaminadas” a proteger y facilitar a la planta los requerimientos para su desarrollo.

Si bien las especies o cepas denominadas PGPR, siempre se les cita como se explica en el párrafo anterior, el descubrimiento principal de este trabajo revela de manera clara y contundente que, un aislamiento bacteriano tipo PGPR (cepa T16) de manera específica inhibe por igual y en gran magnitud la germinación de las semillas de dos cultivares de *H. sabdariffa*.

### 3.4 Referencias

- Almeida da Silva, G. y Amazonas de Almeida, E. (2006). Production of yellow-green fluorescent pigment by *Pseudomonas fluorescens*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(3): 411-419.
- Ashraf, M. y Foolad, M. R. (2005). Pre-sowing seed treatment—A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy*, 88: 223-271.
- Babana, A. H. y Antoun, H. (2007). Effect of Tilemsi phosphate rock-solubilizing microorganisms on phosphorus uptake and yield of field-grown wheat (*Triticum aestivum* L.) in Mali. En: E. Velázquez y Rodríguez-Barrueco, C. (eds.). *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization*. (pp. 51-58) Springer.
- Bewley J. D. y Black, M. (1994). *Seeds. Physiology of development and germination*. (pp. 445) Plenum Press, New York.
- Chanway, C. P., Turkington, R. y Holl, F. B. (1991). Ecological Implications of Specificity between Plants and Rhizosphere Micro-organisms. *Advances in Ecological Research*, 21: 121–169.
- Finch-Savage W. E. y Bassel, G. W. (2016). Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, 67 (3): 567-91. doi: 10.1093/jxb/erv490 First published online: November 19, 2015.
- Garcia de Salamone I. E., Hynes, R. K. y Nelson, L. M. (2005). *Biocontrol and Biofertilization*. Z. A. Siddiqui (ed.) (pp 173-195). The Netherlands. Springer.

- Glick, B. R. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 41(2): 109-117, 10.1139/m95-015
- Glick, B. R. (2010). Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. *Biotechnology Advances*, 28: 367–374
- Glick, B. R., Cheng, Z., Czarny, J. y Duan, J. (2007a). Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. *European Journal of Plant Pathology*, 119: 329-339.
- Glick, B. R., Todorovic, B., Czarny, J. Cheng, Z. Duan, J. y McConkey, B. (2007b). Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26 (5-6): 227-242, DOI: 10.1080/07352680701572966
- Hernández, A., Rives, N., Caballero, A., Hernández A. N. y Heydrich, M. (2004). Caracterización de rizobacterias asociadas al cultivo del maíz en la producción de metabolitos del tipo AIA, sideróforos y ácido salicílico. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6: 6-13.
- Hofte, M., Boelens J. y Verstraete, W. (1992). Survival and root colonization of mutants of plant growth-promoting pseudomonads affected in siderophore biosynthesis or regulation of siderophore production. *Journal of Plant Nutrition*, 15: 2253–2262.
- INEGI. 2004. Anuario Estadístico de Producción agrícola en los Estados Unidos Mexicanos. Biblioteca Digital. <http://www.inegi.gob.mx>
- Kamilova, F, Kravchenko, L. V., Shaposhnikov, A. I., Azarova, T., Makarova, N. y Lugtenberg, B. (2006). Organic acids, sugars and L-tryptophane in exudates of vegetables growing on stone wool and their effects on activities of rhizosphere bacteria. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 9: 250-256.
- King, J. V., Campbell J. R. y Eagles, B A. (1948). The mineral requirements for fluorescin production. *Canadian Journal Research*, 26: 514-519.
- Leeman, M., Den Ouden, F. M., Van Pelt, J. A., Dirx, F. P. M., Steijl, H., Bakker P. A. H. M. y Schippers, B. (1996). Iron availability affects induction of systemic resistance to *Fusarium* wilt of radish in commercial greenhouse trials by seed treatment with *Pseudomonas fluorescens* WCS374. *Phytopathology*, 85:149–155.
- Loper, J. E. y Henkels, M. D. (1997). Availability of iron to *Pseudomonas fluorescens* in rhizosphere and bulk soil evaluated with an ice nucleation reporter gene. *Applied Environmental Microbiology*, 63: 99–105.
- Mazzola, M., Cook, R. J., Thomashow, L. S., Weller, D. M. y Pierson, L. S. (1992). Contribution of phenazine antibiotic biosynthesis to the ecological competence of fluorescent pseudomonads in soil habitats. *Applied Environmental Microbiology*, 58: 2616–2624.
- Patten, C. H. y Glick, B. R. (2002). Role of *Pseudomonas putida* indolacetic acid in development of the host plant root system. *Applied Environmental Microbiology*, 68 (8): 3795-3801.

Rajjou, L., Belghazi, M., Huguet, R., Robin, C., Moreau, A., Job, C. y Job, D. (2006). Proteomic investigation of the effect of salicylic acid on *Arabidopsis* seed germination and establishment of early defense mechanisms. *Plant Physiology*, 141: 910–923.

Ramyasmruthi, S., Pallavi, O., Pallavi, S., Tilak, K.y Srividya S. (2012). Chitinolytic and secondary metabolite producing *Pseudomonas fluorescens* isolated from *S. Solanaceae* rhizosphere effective against broad spectrum fungal phytopathogens. Pelagia Research Library. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 2(1): 16-24.

Rodríguez-Navarro, D. N., Dardanelli, M. S. y Ruíz-Saínz, J. E. (2007). Attachment of bacteria to the roots of higher plants. *FEMS Microbiology Letters*, 272: 127–136.

Thomashow, L. S. y Weller, D. M. (1996). Current concepts in the use of introduced bacteria for biological disease control: mechanisms and antifungal metabolites, En G. Stacey y Keen, N. T. (ed.), *Plant-microbe interactions*, vol. 1. (pp. 187–235). New York. Chapman and Hall.

## **Determinación de los esfuerzos máximos y de cedencia del polialuminio**

GÓMEZ-ÁGUILA, María Victoria & FERNÁNDEZ-CHUAIREY, Lucia

M. Gómez & L. Fernández

`Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México – Texcoco. Chapingo. Estado de México. CP 56 230, tel (01) 595 952-1500

``Universidad Agraria de La Habana. Carretera de Tapaste y 8 vías, San José de la Lajas, Mayabeque, Cuba  
mvaguila@hotmail.com

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.-  
©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

Tetra-pack and tetra-bik are composed of cellulose (75%), aluminum (5%) and polyethylene (20%). The common way to recycle tetra-pak and tetra-bik post-consumption by recovering the cellulose fiber in recycling plants: cellulose, polyethylene and aluminum. Aluminum and recycled polyethylene forms the raw material used in the manufacture of the sheets of poly-aluminum, which are built and sold in the market in order to be used on the roofs of the houses, as materials thermo-acoustic, in formwork (formwork) in civil constructions. The design of equipment and machines using specialized software require parameters that involve the physical-mechanical properties of poly-aluminum. The overall objective of the work is to expose the recycling process of tetra-pak and tetra-bik and the experimental determination of the physico-mechanical properties of poly-aluminum under conditions improved raw material (aluminum and polyethylene).

## 4 Introducción

El reciclaje es un gesto muy útil y sencillo que el medio ambiente agradece de varias formas. La necesidad de nuevas materias primas para crear productos y todo su proceso de extracción, transporte, elaboración y gasto energético, disminuye al reaprovechar los residuos reciclados, de igual forma se evita que estos envases acaben en vertederos, cada vez más saturados y con problemas de impacto ambiental, es por ello, que el reciclado también contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Fernández, A, 2016). En los últimos años se ha despertado un gran interés por el reciclaje y el aprovechamiento de los materiales que utilizamos. Sin embargo, autores como Trujillo (2008); Moreno (2012); Águila (2013); Diana (2014); Darbari (2016) entre otros, corroboran que pocos son los que han logrado materializar el reciclaje en un procedimiento sencillo, fácil de administrar y al mismo tiempo sustentable y citan que países como: Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y Japón, entre algunos otros países, han logrado ahorros importantes con la implementación real del reciclaje, hasta llegar incluso al punto en que sus proyectos alcanzan la sustentabilidad. En México se comienza a vislumbrar el reciclaje de basura como una oportunidad para generar beneficios económicos y poder en el mediano plazo ofrecer la sustentabilidad a programas de reciclaje de largo alcance. A pesar de que los proyecto de innovación tecnológica se ha mantenido en los últimos 15 años por debajo de lo esperado, no ha sucedido lo mismo con la generación de basura, por lo que se requiere desarrollar sistemas novedosos que permitan una gestión de los residuos sólidos eficaz, eficiente y sencilla, ya que desgraciadamente muchos de estos procesos han estado sometidos a la improvisación y la ausencia de verdaderos especialistas en la gestión de residuos sólidos.

Los envases de Tetra-pack de post-consumo están compuestos de: celulosa (75%), aluminio (5%) y polietileno (20%). La estructura por capas del envase de afuera hacia adentro, en las que cada una de las partes realiza una función específica, tales como:

1. (Polietileno) Protege el envase de la humedad exterior.
2. (Papel) Brinda resistencia y estabilidad.
3. (Polietileno) Ofrece adherencia fijando las capas de papel y aluminio.
4. (Aluminio) Evita la entrada de oxígeno, luz y pérdida de aromas.
5. (Polietileno) Evita que el alimento esté en contacto con el aluminio
6. (Polietileno). Garantiza por completo la protección del alimento.

La forma más común de reciclar tetra-pack de post-consumo es mediante la recuperación de la fibra en plantas de reciclado de celulosa. Estas plantas toman envases y los colocan en un gran contenedor de agua, llamado hidro-pulper.

Dentro del hidro-pulper se colocan aspas que rotan según especificaciones técnicas. La acción de someter el tetra-pack a determinada frecuencia de rotación, lo que facilita la separación de las fibras ayudando al cartón (celulosa) a "disolverse" fácilmente. Las fibras absorben el agua y se transforman en una gran pasta de fibra acuosa. Cualquier elemento que no sea papel (por ejemplo el polietileno) flotará o se hundirá y podrá ser recogido, raspado o colado, como se muestra en los trabajos de Moreno (2012).

El aluminio y el polietileno se secan y trituran para formar la materia prima destinada a la fabricación de láminas de poli-aluminio. En la actualidad las láminas se construyen y se comercializan en el mercado con la finalidad de ser empleadas en los techos de las casas, como materiales termo-acústicos, en el encofrado (cimbra) en las construcciones civiles. Si bien es cierto que comienza a emplearse en éstos sectores de la economía, también existe la posibilidad de ser utilizadas en la industria automotriz; sin embargo, hasta el momento esto no ha sido posible ya que se desconocen las propiedades físico-mecánicas del poli-aluminio para ser consideradas en el diseño, parámetros importantes a introducir en los software de diseño tales como: CATIA; UNIGRAPHICS NX,TECNOMATIX SIEMENS PLM SOFTWARE, AUTOCAD.

En tal sentido, Gómez (2013) reportó resultados asociados a la obtención de las propiedades del poli aluminio, sin embargo la materia prima que se empleaba en ese instante era la que se obtenía del reciclado del tetra pak sin existir una relación porcentual de los componentes. Por lo que el objetivo del presente trabajo es determinar las propiedades físico-mecánicas del poli-aluminio bajo dos composiciones diferentes de láminas y aluminios.

## 4.1 Materiales y métodos

### 4.1.1 Planificación del experimento

Lugar de ejecución del experimento: La investigación se realizó en el laboratorio de Materiales, perteneciente al departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH)

Condiciones de realización del experimento: El experimento se desarrolló con temperatura atmosférica promedio de 28<sup>0</sup>C, presión atmosférica de 793.4 Mb y una humedad del aire del 25%, entre los meses de enero y febrero del 2016 [5].

Selección del tamaño de la muestra: Para seleccionar el tamaño de la muestra se determinó a partir de la expresión:

$$n = \sqrt{\frac{S^2 t_{\frac{\alpha}{2}}^{n-1}}{\varepsilon}} \quad (4)$$

Donde:

n : tamaño de la muestra mínima necesaria.

S: desviación standard.

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1}$  valor de la t de Student para una distribución normal con estimación del nivel de confianza prefijado (se trabajó con un nivel de confianza del 95%. Y con un error máximo permisible denominado por  $\varepsilon = \frac{S}{\sqrt{n}} t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1}$  siendo  $\frac{S}{\sqrt{n}}$  el error máximo permisible.

Medios de medición: El medio de medición que se emplea es una máquina universal de tensión-compresión, que registra y grafica automáticamente los esfuerzos vs deformaciones. La máquina se encuentra debidamente calibrada. Para la prueba de absorción se emplea la balanza digital PCE-BSH 10000 de 10 kg y precisión de 0.2 g con función de cómputo e interfaz de datos RS-232, calibrada y ajustada acorde a las exigencias planteadas para este tipo de trabajo. Para ambos estudios se consulta la norma ASTM D570-98, la que establece las dimensiones de las probetas a ensayar (295 mm de largo, con longitud de ensayo: 85 mm, 20 mm de ancho y espesores: 6 y 10 mm).

Descripción del experimento: Las propiedades físico-mecánicas del poli-aluminio se obtienen al realizar el ensayo a tracción en la máquina universal y bajo dos condiciones de estudio diferentes: experimento 1 con 80% de Polietileno y 20 % de aluminio de alta densidad y experimento 2 con 60% de polietileno y 40% de aluminio de alta densidad.

Para la caracterización de las propiedades Físico-Mecánica se utilizó una estadística descriptiva que incluyó medidas de tendencia central y medidas de dispersión y para comparar dos muestra la prueba t (t-student y el p-valor). Para el procesamiento de los datos, en todos los casos se utilizó el software estadístico, Statgraphics Plus Centurion versión. XV.II (2015).

## 4.2 Resultados y discusión

En la tabla 4 se observan las propiedades físico - mecánicas del polialuminio más importantes desde el punto de vista del diseño de elementos de máquinas, que son requeridos para el diseño por computadoras.

**Tabla 4** Propiedades físico-mecánicas del poli-aluminio bajo dos composiciones de materia prima diferentes

Composición de la materia prima	Experimento 1 80 % Polietileno + 20 % Aluminio	Experimento 2 60 % Polietileno + 40 % Aluminio
Esfuerzo máximo de tracción; MPa		
Media	59,25	106,6
Error estándar	0,51	0,93
Coeficiente de variación	5,44 %	5,54%
Esfuerzo de cedencia; MPa		
Media	30.78	83,82
Error estándar	0,16	0,38
Coeficiente de variación	3,46 %	2,90 %
Elongación; %		
Media	0,15	0,08
Error estándar	0,0007	0,002
Coeficiente de variación	3,21 %	22,84%
Módulo de Young; GPa		
Media	21,67	43,41
Error estándar	0,20	0,62
Coeficiente de variación	6,03	5,93%

En esa misma tabla se observa que los valores promedios de esfuerzo máximo de tracción para el experimento 1 (80 % Polietileno + 20 % Aluminio) fue de 59, 25 MPa, mientras que en el experimento 2 (60 % Polietileno + 40 % Aluminio) la media alcanzó un valor de 106,6 MPa, ambos valores superan considerablemente los encontrados por Gómez (2013) cuyo valor reportado fue solo de 20 MPa, cuando en el proceso de fabricación de las láminas de poli-aluminio se realizó sin tener en cuenta la composición de la materia.

Por otra parte las medias del esfuerzo de cedencia fueron de 30.78 MPa para el experimento 1 y de 83, 82 para el experimento 2, estos resultados pudieran estar asociados igualmente a las condiciones en que se desarrollaron ambos experimentos. Es de destacar que tanto en el esfuerzo máximo de tracción como para la cedencia, los coeficiente de variación por están por debajo del 5,54% lo que indica que existe poca variabilidad en los datos, para una mejor confiabilidad en los resultados.

Al comparar los promedios alcanzados (Tabla 4.1) en ambos experimentos en las cuatro propiedades estudiadas, se pudo comprobar con un 95% de confianza que existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores promedios en todos los casos, con p-valor = 0,0000 lo que indica que la relación 60-40 % de polietileno y aluminio se obtienen mejores propiedades, sin embargo, existe una limitante en lograr dicha relación ya que la cantidad de tetra pak reciclado en los hidropulper alimenta sólo la cantidad de 5 % de aluminio y 20% de polietileno, siendo esto una limitante en el flujo de producción por la falta del 50% de aluminio en cada ciclo de trabajo.

**Tabla 4.1** Resultados encontrados en las docima de comparación de medias

Docimas de comparación de dos muestras	Experimento 1 80 % Polietileno + 20 % Aluminio	Experimento 2 60 % Polietileno + 40 % Aluminio
Esfuerzo máximo de tracción; MPa		
Estadígrafo (t-student)	t = - 44,48	
P-valor	p-valor = 0,0000	
Esfuerzo de cedencia; MPa		
Estadígrafo (t-student)	t = - 126,05	
P-valor	p-valor = 0,0000	
Elongación; %		
Estadígrafo (t-student)	t = 24,98	
P-valor	p-valor = 0,0000	
Módulo de Young; GPa		
Estadígrafo (t-student)	t = - 42,34	
P-valor	p-valor = 0,0000	

El estudio realizado permitió caracterizar propiedades físico-mecánica del poli-aluminio bajo dos relaciones porcentuales diferentes en los componentes, lo que constituye una base para investigaciones asociadas con el reciclado del tetra pak y tetra bik de post consumo y de ahí que se incremente la finalidad de empleo y demanda del poli-aluminio en procesos de construcción y otras áreas.

### 4.3 Conclusiones

Las propiedades físico-mecánicas del poli-aluminio con relación 60-40 % de polietileno y aluminio respectivamente presentan un comportamiento mejor que las elaboradas 80-20 % por lo que se debe considerar la composición de la materia prima a emplear en la fabricación de estas láminas, para así obtener un mejor comportamiento a la resistencia, rigidez y estabilidad mecánicas de los elementos a construir con dichas láminas.

#### 4.4 Referencias

Aguíla, M.V. (2013). Experimental Determination of the Physical and Mechanical Properties of the Poly-aluminum. Memorias el XXII Congreso Nacional y primer Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica Agrícola, México.

Darbari, S. (2016). Post Consumer Tetrapak (PCCs) Management. New Delhi the Energy and Resources Institute. (Projet Report EE04). India.

Diana V. (2014). Estudio comparativo de cenizas de bagazo de caña como adición puzolánica. Revista Colombiana de Materiales Edición Especial Artículos Cortos, 5(5): 13-18.

Fernández, A. (2016). “Para qué sirve reciclar”. Revista Eroski en catlá, 1-3. ISBN 978-968-9773-03.

Moreno, C. (2012). Composición del envase (s.f.) Productos/Servicios: El sistema Tetra Brik. Tetra Pak Argentina. [En línea] Disponible en: [http://www.tetrapak.com/ar/products\\_and\\_services/elsistemadetrabrik/composici%C3%B3n%20del%20envase/Pages/default.aspx.2012\\_](http://www.tetrapak.com/ar/products_and_services/elsistemadetrabrik/composici%C3%B3n%20del%20envase/Pages/default.aspx.2012_) (Consultado: mayo 2016).

Statgraphics Plu. (2015) Centurion version. XV.II

Trujillo, M. (2008). Estudio Comparativo entre Compuestos de Bagazo de Caña y de Agave. Memorias del XIV Congreso Internacional Anual de la SOMIM. Puebla, México

## **Elementos benéficos en la hibridación de caña de azúcar (*Saccharum* spp.): Efectos en la fisiología del progenitor masculino durante el cruzamiento**

SENTÍES-HERRERA, Héctor Emmanuel, TREJO-TÉLLEZ, Libia Iris, GÓMEZ-MERINO, Fernando Carlos, CADENA-IÑIGUEZ, Jorge, SÁNCHEZ-GARCÍA, Prometeo y VOLKE-HALLER, Víctor Hugo

H. Sentíes`, L. Trejo`, F. Gómez``, J. Cadena``, P. Sánchez` y V. Volke`

`Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México, México. C. P. 56230

``Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94961

````Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. C. P. 78600 tlibia@colpos.mx

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

In the process of hybridization of sugarcane pollination is required, for which stems are harvested with flowers in the field when the floral opening begins. In this study, the effects of the addition of beneficial elements aluminum (Al), lanthanum (La), iodine (I), silicon (Si) and titanium (Ti) were evaluated at three concentrations in the aseptic solution in physiology of the panicle of the male progenitor CP 80-1743. As a control, the original aseptic solution was considered, without beneficial elements. The results indicate that the beneficial elements tested differentially affected the stem diameter and diameter of the central rachis, biomass weights of the central rachis and the Fuzz. On the contrary, the treatments had no influence on the length of the panicle. The elements with the greatest beneficial effects were Al, Si and Ti.

## 5 Introducción

México cuenta con un programa de mejoramiento genético de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), el cual inició a mediados del siglo XX, y en la actualidad se encuentra bajo la dirección del Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar, A.C. (CIDCA), que cuenta con un banco de germoplasma compuesto por 3,184 variedades, de las cuales 1,133 son mexicanas y 2,051 extranjeras. Estas variedades se encuentran clasificadas por sexo, para dar lugar a 16 Bancos de Cruzamiento, y así continuar cada año con los trabajos de mejoramiento genético de esta especie (Senties-Herrera *et al.*, 2014; CIDCA, 2016). Dicho programa es reconocido entre los más de 25 programas de mejoramiento genético de caña de azúcar a nivel mundial, los cuales mantienen un gran número de clones seleccionados en programas regionales, importados de otras estaciones y de especies silvestres de las colecciones mundiales (Machado-Junior, 2002), y el de México no es la excepción. Entre los eslabones más importantes de la cadena de valor de la caña de azúcar en México destaca el desarrollo de nuevas y mejores variedades, con características sobresalientes agroindustriales y de adaptabilidad a las diferentes regiones cañeras del país (Senties-Herrera *et al.*, 2014), lo que garantiza el crecimiento, la competitividad y la sustentabilidad de dicha agroindustria.

Para llevar a cabo el proceso del mejoramiento genético de esta gramínea, el proceso de floración es la principal característica agronómica y fisiológica deseable para los fitomejoradores (Salgado-García *et al.*, 2013). El cocimiento de este proceso, para el establecimiento y buena ejecución de los cruzamientos, permite la generación de combinaciones híbridas entre progenitores sobresalientes para las características agroindustriales de interés (Silva *et al.*, 2013). Durante la hibridación, se realiza el armado y el establecimiento del cruzamiento, los cuales son colocados en las casas de hibridación, para que se lleve a cabo la polinización y finalmente la obtención de semilla botánica (Fuzz) (Landell y Bressiani, 2010).

La longevidad de las inflorescencias de hasta 25 días, se encuentra supeditada a una solución aséptica, la cual está compuesta por ácidos no volátiles y volátiles. Dentro de los no volátiles se encuentran los ácidos fosfórico, sulfúrico y nítrico, mientras que el ácido sulfuroso representa a los volátiles (Liu, 1965). En el programa de mejoramiento de México, esta solución ha sido utilizado desde su inicio, lo que significa que no se ha estudiado esta área en nutrición de caña de azúcar y el efecto de nuevas formulaciones de soluciones en el desarrollo y viabilidad de la flor, y producción de semilla botánica (Fuzz). Dado que los elementos benéficos ofrecen la posibilidad de mejorar indicadores de crecimiento, desarrollo y respuestas a factores ambientales (Trejo-Téllez *et al.*, 2007; Pilon-Smits *et al.*, 2009), el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adición de los elementos benéficos Al, I, La, Si y Ti en la solución aséptica utilizada por el CIDCA, en diferentes indicadores fisiológicos del tallo y la flor del progenitor masculino.

## 5.1 Materiales y métodos

La investigación se realizó en la Estación de Hibridación del Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar, A. C. (CIDCA) ubicado a 14° 56' latitud norte y 92° 51' longitud oeste, a una altitud de 320 m (INAFED, 2016). El clima es cálido húmedo con temperatura media anual de 26.4 °C y su precipitación media anual de más de 4,259 mm (Serrano-Altamirano *et al.*, 2006; CONAGUA, 2016). Se realizó un cruzamiento biparental entre las variedades CC 93-3826 x CP 80-1743. En la evaluación solo se consideró el progenitor masculino CP 80-1743. El cruzamiento se realizó de acuerdo a las condiciones de trabajo del CIDCA. Para ello se cortaron tallos con flores disponibles y se colocaron en solución aséptica. Posteriormente fueron llevados a la casa de cruzamientos para implementar el cruzamiento. El periodo de duración del cruzamiento fue de 12 días. Los tratamientos evaluados consistieron en la adición de elementos benéficos, cada uno de ellos a tres concentraciones, lo que dio como resultado los tratamientos siguientes: Al a 50, 100 y 150  $\mu\text{M}$ ; I a 20, 40 y 60  $\mu\text{M}$ ; La a 10, 20 y 30  $\mu\text{M}$ ; Si a 5, 10 y 15  $\mu\text{M}$ ; y Ti a 25, 50 y 75  $\mu\text{M}$ . Las fuentes para estos elementos fueron  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , KI,  $\text{LaCl}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , y  $\text{TiO}_2$ , respectivamente. Como testigo absoluto se utilizó la solución aséptica original del CIDCA. La adición de estos elementos se realizó dos veces durante la duración del cruzamiento, siguiendo el criterio de la reposición de ácidos fijos.

Las variables evaluadas fueron: Reducción del Diámetro del Tallo (RDT), Reducción del Diámetro del Raquis Central (RDRC), Longitud de panícula (LP), Peso Seco del Raquis Central (PSRC) y Peso Seco del Fuzz (PSF). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue una panícula. Se realizó de manera independiente para cada elemento benéfico el análisis de la varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ) con el programa estadístico SAS v. 9.4.

## 5.2 Resultados

En los procesos de cruzamiento, el conservar los diámetros del tallo y del raquis central, es de vital importancia para mantener un flujo de agua y nutrimentos que son transportados a sitios de demanda; en este caso, se destinan al buen desarrollo de la panícula y por ende a la producción de Fuzz (semilla botánica) de calidad (Harrington y Bush, 2014; Moore y Berding, 2014; Welbaum, 2014).

En nuestro estudio, la presencia de alguno de los elementos benéficos evaluados en la solución aséptica tuvo un impacto negativo en el diámetro del tallo durante el periodo que dura el cruzamiento, en comparación con el testigo. Las aplicaciones de Al [100 y 50  $\mu\text{M}$ ], I [20 y 60  $\mu\text{M}$ ], La [20 y 30  $\mu\text{M}$ ], Si [10 y 15  $\mu\text{M}$ ] y Ti [25 y 75  $\mu\text{M}$ ] presentaron las reducciones más altas y todas significativas, con valores de -1.46, -1.21, -1.37, -1.15, -1.43, -1.19, -1.01, -1.32, -1.35 y -1.53 mm, respectivamente (Gráficos 5 A, 5 B, 5 C, 5 D y 5 E). Sin embargo, los elementos benéficos La [10  $\mu\text{M}$ ] y Si [5  $\mu\text{M}$ ] presentaron la menor reducción en el diámetro del tallo con significancia igual al testigo.

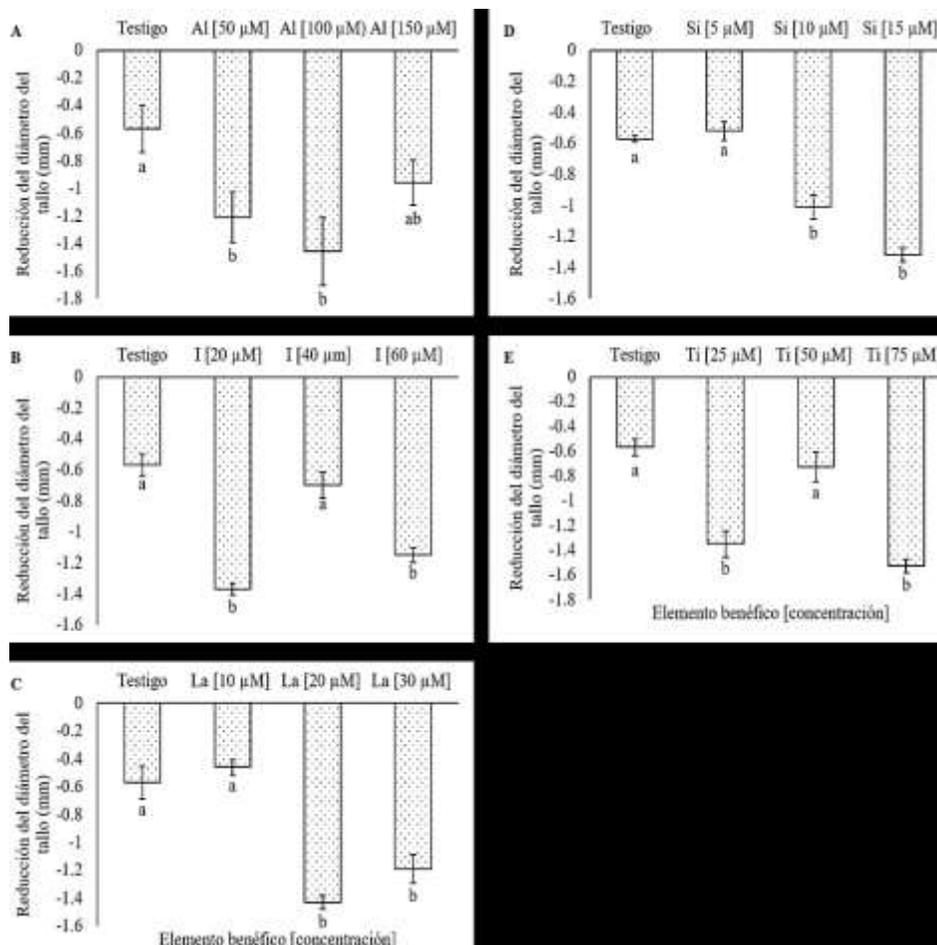
Se registraron reducciones en el diámetro del raquis central menores no significativas y superiores significativas al tratamiento testigo (Gráfico 5.1). Los tratamientos con Al [100  $\mu\text{M}$ ], I [20 y 60  $\mu\text{M}$ ], La [10, 20 y 30  $\mu\text{M}$ ] y Ti [75  $\mu\text{M}$ ], registraron el mayor decremento en esta variable con valores de -2.17, -0.97, -1.1, -1.07, -4.28, -1.04 y -1.94 mm, respectivamente (Gráficos 5.1 A, 5.1 B, 5.1 C, 5.1 E). Sin embargo, el resto de las concentraciones y en especial las tres de Si, mostraron valores menores en la reducción del diámetro del raquis central, aunque dichos valores son estadísticamente iguales al tratamiento testigo. Cabe mencionar que los tratamientos Ti [25  $\mu\text{M}$ ], Al [50  $\mu\text{M}$ ] y Si [5  $\mu\text{M}$ ], presentaron la mayor resistencia a la reducción, con valores de -0.06, -0.24 y -0.27 mm, respectivamente (Gráficos 5.1 E, 5.1 A y 5D).

La longitud de la panícula es un carácter importante para el proceso de cruzamiento. Es deseable que la panícula del progenitor macho sea grande y vigorosa, dado que esto garantiza una mayor cantidad de flores; y por tanto, de un mayor número de sacos polínicos para una buena polinización de las panículas hembras.

La producción de Fuzz (semilla botánica), de manera natural es muy difícil, debido a que no es muy frecuente el desarrollo de inflorescencias y este proceso depende de muchos factores tanto endógenos de la planta como exógenos (Moore y Berding, 2014).

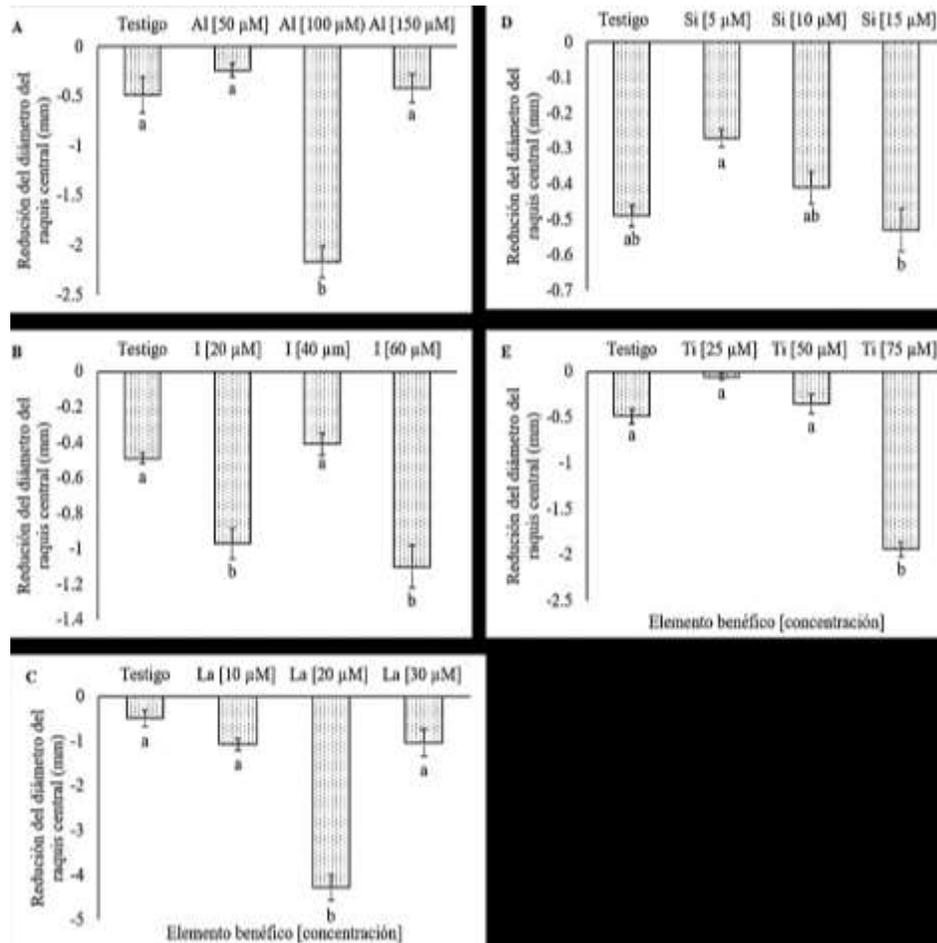
El presente estudio muestra que un factor exógeno como lo es la nutrición con elementos benéficos durante el periodo del cruzamiento, no tiene impacto en el crecimiento de la panícula (Gráfico 5.2).

**Gráfico 5** Reducción en el diámetro de tallo por efecto de elemento benéfico, Al (A), La (B), I (C), Si (D) y Ti (E)



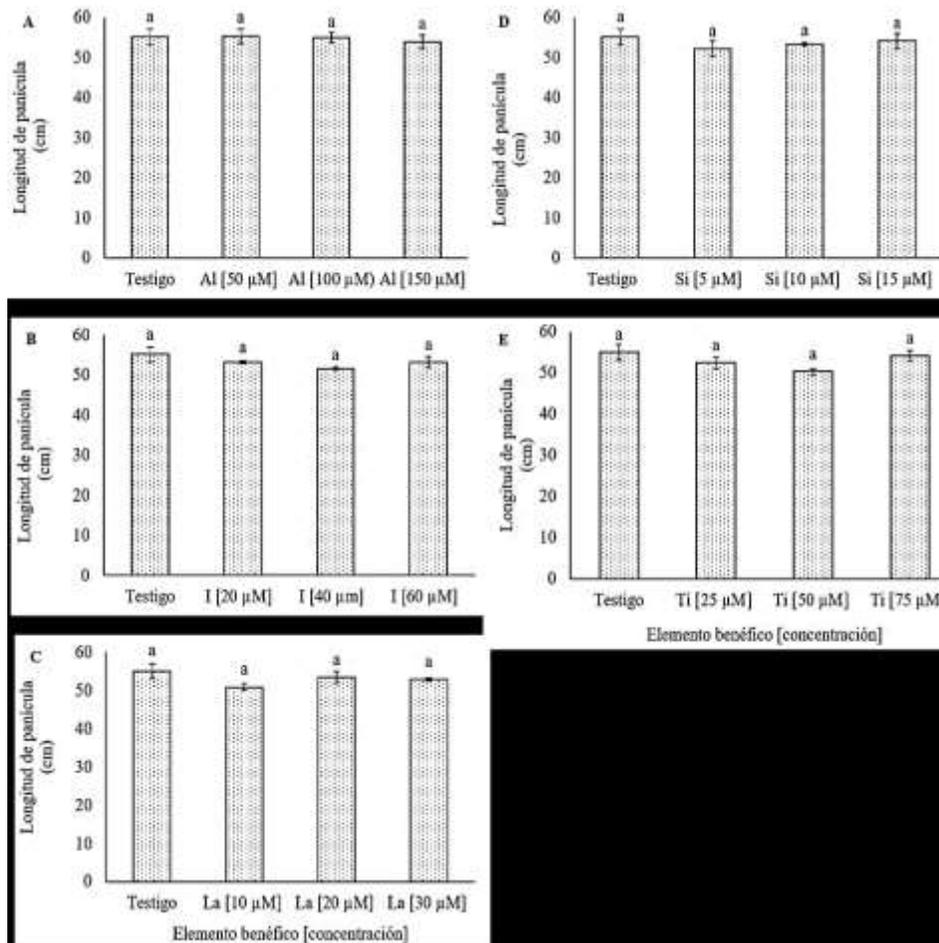
Medias  $\pm$  DE con letras distintas en cada subgráfico indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

**Gráfico 5.1** Reducciones en el diámetro de raquis central por efecto de elemento benéfico, Al (A), La (B), I (C), Si (D) y Ti (E)



Medias  $\pm$  DE con letras distintas en cada subgráfico indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

**Gráfico 5.2** Longitudes de panícula por efecto de elemento benéfico, Al (A), La (B), I (C), Si (D) y Ti (E)

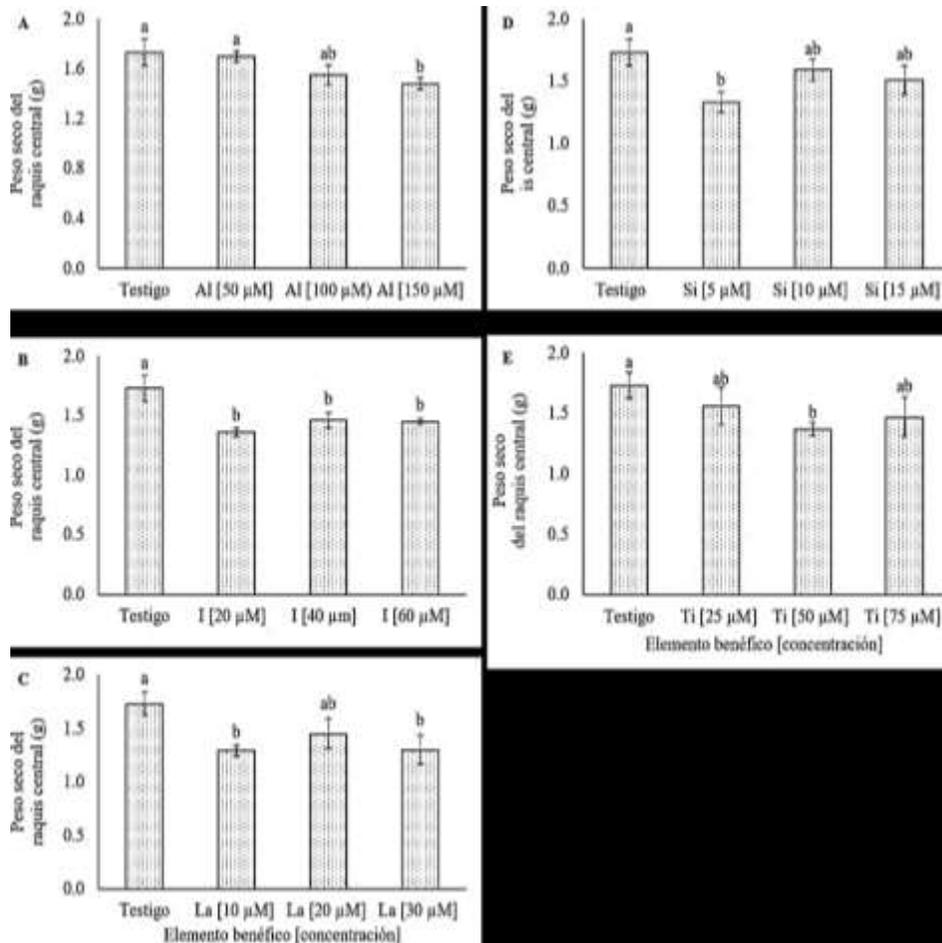


Medias  $\pm$  DE con letras distintas en cada subgráfico indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

El crecimiento y desarrollo de las plantas está determinado por condiciones ambientales y nutrimentales (Naresh y Singh, 2010); por lo que, la evaluación de la acumulación de materia seca durante el ciclo de un cultivo, permite saber cuáles son los factores que influyen en mayor medida en el crecimiento y desarrollo (Santos *et al.*, 2010). La materia seca acumulada por las inflorescencias puede afectar el proceso de cruzamiento, dado que ésta depende del tamaño, actividad y duración del área foliar de la planta (Tekalign y Hammes, 2005). Lo anterior permite comparar el rendimiento de diferentes cultivares en condiciones similares de crecimiento (Woo *et al.*, 2004). En nuestro estudio se determinó el peso de la materia seca del raquis central (Gráfico 5.3) y del Fuzz (Gráfico 5.4). De manera general, se observó un efecto negativo de los elementos benéficos en la biomasa del raquis central (Gráfico 5.3). Los pesos secos más bajos del raquis central se obtuvieron con La [10 y 30  $\mu$ M], I [20 y 60  $\mu$ M], Si [5  $\mu$ M] y Ti [50  $\mu$ M], con valores de 1.29, 1.30, 1.36, 1.46, 1.33 y 1.37 g, respectivamente, en comparación con el testigo que obtuvo un peso seco de 1.73 g (Gráficos 5.3 B, 5.3 C, 5.3 D y 5.3 E). En los programas de selección de variedades de caña de azúcar, la semilla que produce la planta a través de los procesos de cruzamiento es conocida como Fuzz como ya se indicó previamente. El peso del Fuzz puede tener efectos determinantes en la viabilidad de la semilla. La producción de Fuzz es dependiente de diversos factores entre los que se encuentran el estatus nutrimental y el agua, señales bioquímicas y producción de hormonas, la temperatura del día y la noche, entre otros (Moore y Berding, 2014).

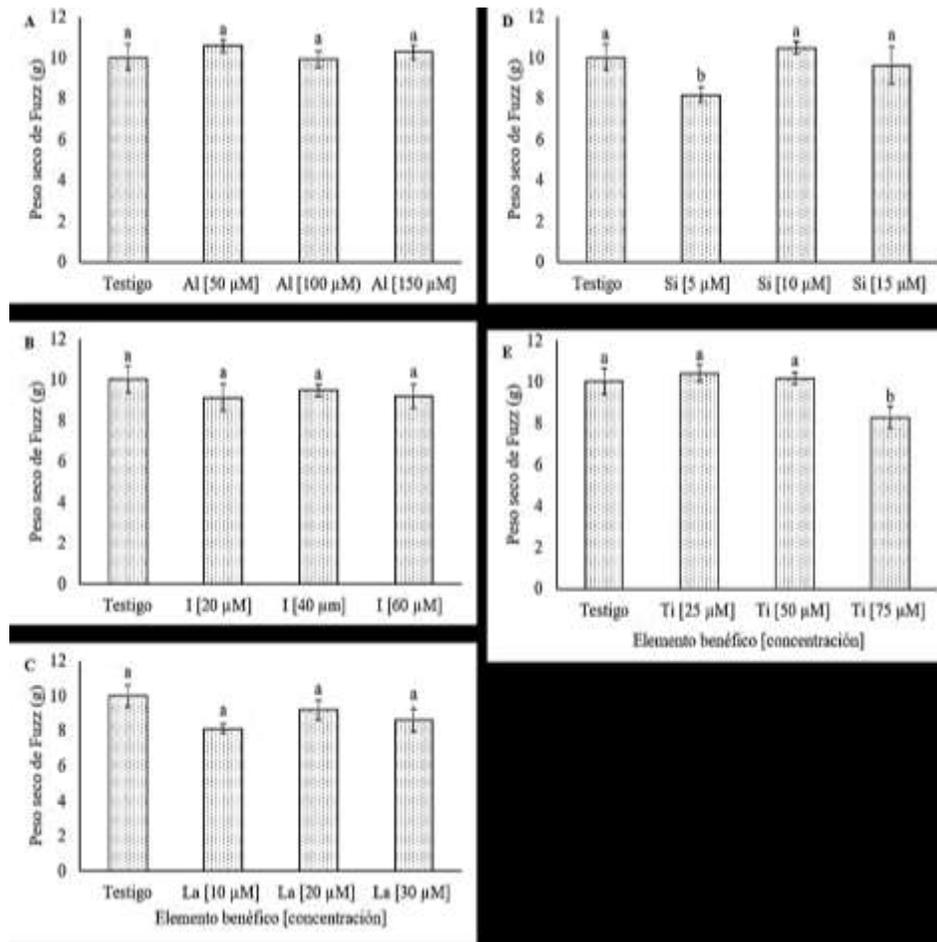
En nuestro estudio nos enfocamos en la parte nutrimental, y en elucidar respuestas tendientes a mejorar la fisiología de la panícula con el uso de elementos benéficos. La producción de materia seca de Fuzz en presencia de Si [5  $\mu\text{M}$ ] y Ti [75  $\mu\text{M}$ ], mostró una reducción significativa, con valores de 8.18 y 8.28 g, respectivamente, y que fueron inferiores al registrado en el testigo con un valor de 10.02 g (Gráficos 5.4 D y 5.4 E). El resto de los elementos benéficos y concentraciones ensayadas no tuvieron efectos estadísticamente significativos en el peso seco de Fuzz (Gráfico 5.4).

**Gráfico 5.3** Pesos secos de raquis central por efecto de elemento benéfico, Al (A), La (B), I (C), Si (D) y Ti (E)



Medias  $\pm$  DE con letras distintas en cada subgráfico indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

**Gráfico 5.4** Pesos secos de Fuzz por efecto de los elementos benéficos Al (A), La (B), I (C), Si (D) y Ti (E)



Medias  $\pm$  DE con letras distintas en cada subgráfico indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

En el presente trabajo, se observaron efectos diferenciales de los elementos benéficos en la fisiología de la panícula del progenitor masculino de caña de azúcar. Si bien muchos de los procesos en los cuales pueden intervenir los elementos benéficos aún no se han descrito, éstos ofrecen una oportunidad de mejora del crecimiento y desarrollo de las plantas (Trejo-Téllez *et al.*, 2007; Pilon-Smits *et al.*, 2009).

Diversos autores han reportado los efectos positivos del Al como elemento benéfico, con impactos importantes en la estimulación del crecimiento de raíces, el área foliar y favorecer la vida de florero de flores de corte (Pilon-Smits *et al.*, 2009; Kidd y Proctor, 2000; Mahdi *et al.*, 2012; Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2007). Recientemente Moreno-Alvarado *et al.* (2017) reportaron que el Al promueve el crecimiento y la concentración de azúcares solubles en arroz. Sin embargo, como todo elemento benéfico, el Al es inductor de hormesis en la planta. La hormesis es un fenómeno de respuesta a dosis, ya que a pequeñas cantidades de un elemento o sustancia un organismo puede mejorar su desempeño, pero al sobrepasar un umbral determinado, ocasiona efectos tóxicos. En este sentido, con base en los resultados obtenidos, no se encontró el nivel hormético al que este elemento ocasiona efectos positivos, y más bien lo que se observó fue un efecto negativo debido a que redujo el diámetro del tallo y el peso del raquis central (Gráficos 5 A y 5.3 A).

Por el contrario, a concentraciones adecuadas [50 y 150 mM] puede mantener el grosor del raquis central de la planta (Gráfico 5.1 A). Sin embargo, no presenta efectos significativos en otras variables evaluadas, como la longitud de la panícula y el peso seco de Fuzz (Gráficos 5.2 A y 5.4 A).

Otro elemento considerado como benéfico es el La, debido a que promueve el crecimiento e incrementa la biomasa y se ha demostrado que mejora el porcentaje de germinación de semillas (Ramírez-Martínez *et al.*, 2012; Liu y Hasenstein, 2005; Chaturvedi *et al.*, 2014). El La incrementa la calidad de plántulas de pimiento mediante la promoción de algunos parámetros de crecimiento y de las concentraciones de biomoléculas, dependiendo del genotipo y del tiempo de exposición (García-Jiménez *et al.*, 2017). En el presente trabajo, se observaron efectos diferenciales del La en función de su concentración en la reducción del diámetro del tallo (Gráfico 5 B) y del diámetro de raquis (Gráfico 5.1 B). Asimismo, el La en todas sus concentraciones evaluadas, redujo el peso seco del raquis central (Gráfico 5.3 B). Por otra parte, el La no tiene efectos significativos en la longitud de la panícula (Gráfico 5.2 B) y ni en el peso seco de Fuzz (Gráfico 5.4 B).

Otro elemento es el I, el cual interactúa en procesos de producción de biomasa y sistemas antioxidantes, además promueve la acumulación de compuestos fenólicos (Blasco *et al.*, 2011; 2013). En este estudio, se observó que dependiendo de su concentración, este elemento puede afectar indicadores de producción y finalmente el peso de materia seca, como se puede observar en los Gráficos 5 C, 5.1 C y 5.3 C. En el crecimiento de la panícula y el peso seco de Fuzz, el yodo no tuvo efectos significativos (Gráficos 5.2 C y 5.4 C).

El Si es un elemento benéfico para caña de azúcar, mejora procesos como la germinación, incrementa la actividad antioxidante bajo condiciones de estrés salino, y mitiga efectos negativos de factores bióticos y abióticos (Xiao-dong *et al.*, 2010; Jamali y Rahemi, 2011). Sin embargo, no en todos los procesos fisiológicos de la planta de caña de azúcar puede ser benéfico. A medida que incrementa la concentración de éste a partir de la concentración 10  $\mu$ M, se presenta mayor reducción en el diámetro del tallo (Gráfico 5 D). Por otra parte, las tres concentraciones de Si, no afectaron de manera significativa el diámetro del raquis central (Gráfico 5.1 D). Este elemento no mejoró la producción de materia seca; por el contrario, en la concentración baja evaluada [5 mM], la redujo significativamente (Gráficos 5.3 D y 5.4 D). El Si no afectó significativamente el crecimiento de la panícula (Gráfico 5.2 D).

El Ti juega un rol importante en diversos procesos internos de la planta, como en la germinación, en la vida de florero de flores de corte y en la reducción de la hormona vegetal etileno (Kleiber y Markiewicz, 2013; Mahmoodzadeh *et al.*, 2013; Norman y Chen, 2011). El Ti en la dosis alta evaluada [75 mM] incrementó significativamente las reducciones en el diámetro de tallo (Gráfico 5 E) y en el diámetro del raquis central (Gráfico 5.1 E); asimismo, redujo el peso seco del Fuzz (Gráfico 5.4 E); en todos los casos respecto al testigo. Así también se observa un efecto negativo de las dosis crecientes de Ti en el peso seco del raquis central (Gráfico 5.3 E). Por el contrario, el Ti en todas las dosis ensayadas no tuvo efecto en la longitud de la panícula (Gráfico 5.2 E).

Lo anterior indica que el efecto benéfico de los elementos Al, I, La, Si y Ti y su participación en el desarrollo del tallo del progenitor masculino durante el cruzamiento, no se ve muy resaltado, ya que dicha acción puede no alterar el funcionamiento normal de los tallos ya que en este caso, se mostraron cambios diferenciales mayormente negativos en todas las variables evaluadas a excepción de la longitud de la panícula que no se vio afectada.

### 5.3 Conclusiones

Los elementos benéficos Al, La, I, Si y Ti presentan una influencia considerable en parámetros fisiológicos de crecimiento y desarrollo floral durante el periodo de cruzamiento. Ninguno de los elementos benéficos evaluados tuvo influencia en el crecimiento de la panícula; sin embargo, participan en otros procesos fisiológicos con acentuados efectos, tanto positivos como negativos, destacando entre ellos la pérdida de diámetro en tallo y raquis central, y la producción de biomasa seca. En general, el Al pudo aumentar o mantener el grosor del raquis central e incrementar el peso seco de Fuzz. El La reduce los decrementos en el diámetro de tallo. El I reduce los decrementos en el diámetro del raquis central. El Si reduce la magnitud de los decrementos en el diámetro del raquis central y el peso seco de Fuzz. El Ti estimula el diámetro del raquis central e incrementa el peso seco del Fuzz.

Incluir elementos benéficos en la realización de los cruzamientos de caña de azúcar, podría traducirse en una alternativa para reforzar el mejoramiento genético de esta especie, al mejorar la condición del tallo cortado, ya que al separarse de la planta, se da lugar a la senescencia de la flor, lo que determina la longevidad o vida de la misma, que es indispensable contar con un mínimo de días (por lo menos 12) en óptimas condiciones para que se lleve a cabo el cruzamiento (apertura de flores y polinización de la hembra). Dicha condición se ve limitada por muchos factores internos como la producción de etileno y externos como el manejo durante el periodo de cruzamiento. En esta investigación se observaron efectos benéficos aunque no significados en la pérdida de diámetro en tallo y raquis central, lo que da referencia que se mantiene la turgencia de las células después de interrumpir el flujo normal de agua y nutrimentos debido al corte del tallo. Sin embargo, es este trabajo se observaron mayormente efectos negativos que benéficos en la fisiología del progenitor masculino de caña de azúcar CP 80-1743. Se recomienda seguir ensayando más concentraciones de los elementos benéficos.

### 5.4 Agradecimientos

Los autores agradecen al CIDCA, A. C. por las facilidades para llevar a cabo esta investigación. Al CONACYT por el apoyo y financiamiento de la beca de estudios otorgada a HESH. A la LGAC Nutrición Vegetal-Edafología del Colegio de Postgraduados.

### 5.5 Referencias

- Blasco, B., Leyva, R., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2013). Iodine effects on phenolic metabolism in lettuce plants under salt stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(11), 2591-2596.
- Blasco, B., Ríos, J. J., Leyva, R., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Rosales, M. A., Ruiz, J. M., & Romero, L. (2011). Does Iodine Biofortification Affect Oxidative Metabolism in Lettuce Plants? *Biological Trace Element Research*, 142(3), 831-842.
- Chaturvedi, N., Gannavarapu, R., & Kumar-Dhal, N. (2014). Effect of lanthanum on the growth and physiological activities of *Zea mays*, *Vigna radiata* and *Vigna mungo*. *International Journal of Environmental Science*, 4(5), 653-659.
- CIDCA. (2016). *Programa de variedades*. Recuperado el 28 de julio de 2016, de <http://www.camaraazucarera.org.mx/Cidca.aspx>

CONAGUA. (2016). *Precipitación pluvial media histórica y total anual en el Estado de Chiapas*. Recuperado el 28 de julio de 2016, de <http://www.conagua.gob.mx/OCFS07/Contenido/Documentos/mediasgrfs.htm>

García-Jiménez, A., Gómez-Merino, F. C., Tejeda-Sartorius, O., & Trejo-Téllez, L. I. (2017). Lanthanum affects bell pepper seedling quality depending on the genotype and time of exposure by differentially modifying plant height, stem diameter and concentrations of chlorophylls, sugars, amino acids, and proteins. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 308, doi: 10.3389/fpls.2017.00308

Harrington, G. N. & Bush, D. R. (2014). *Transport Proteins in Plant Growth and Development*. USA: Wiley-Blackwell.

INAFED. (2016). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Tuxtla Chico*. Recuperado el 28 de julio de 2016, de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07102a.html>

Jamali, B. & Rahemi, M. (2011). Carnation flowers senescence as influenced by nickel, cobalt and silicon. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 5(15), 147-152.

Kidd, P. S. & Proctor, J. (2000). Effects of aluminium on the growth and mineral composition of *Betula pendula* Roth. *Journal of Experimental Botany*, 51(347), 1057-1066.

Kleiber, T. & Markiewicz, B. (2013). Application of “Tytanit” in Greenhouse Tomato Growing. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 12(3), 117-126.

Landell, M. G. A. & Bressiani, J. A. (2010). *Melhoramento genético e manejo varietal*. Brasil: Instituto Agronomico Campinas.

Liu, L. (1965). *Sugarcane crossing technique*. Trabajo presentado en el Congress of International Society of Sugar Cane Technologists de 1965.

Liu, M. & Hasenstein, K. H. (2005). La<sup>3+</sup> uptake and its effect on the cytoskeleton in root protoplasts of *Zea mays* L. *Plant Physiology*, 220(5), 658-666.

Machado-Junior, G. R. (2002). Sugarcane varieties. *Sugarcane Journal*, 66(2), 6-7.

Mahdi, J. M., Kafi, M., Khalighi, A., & Hasanzadeh, N. (2012). Evaluation of aluminum sulfate as vase solution biocide on postharvest microbial and physiological properties of ‘Cherry Brandy’ rose. *Annals of Biological Research*, 3(2), 1132-1144.

Mahmoodzadeh, H., Nabavi, M., & Kashefi, H. (2013). Effect of nanoscale titanium dioxide particles on the germination and growth of canola (*Brassica napus*). *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*, 3(1), 25-32.

Moore, P. H. & Berding, N. (2014). *Flowering*. USA: Wiley-Blackwell.

- Moreno-Alvarado, M., García-Morales, S., Trejo-Téllez, L. I., Hidalgo-Conteras, V., & Gómez-Merino, F. C. (2017). Aluminum enhances growth and sugar concentration, alters macronutrient status and regulates the expression of NAC transcription factors in rice. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 73, doi: 10.3389/fpls.2017.00073
- Naresh, K. S. & Singh, C. P. (2001). Growth analysis of maize during long and short duration crop seasons: Influence of nitrogen source and dose. *Indian Journal of Agriculture Research*, 35(1), 13-18.
- Norman, D. J. & Chen, J. (2011). Effect of foliar application of titanium dioxide on bacterial blight of geranium and *Xanthomonas* leaf spot of *Poinsettia*. *Hortscience*, 46(3), 426-428.
- Pilon-Smits, E. A., Quinn, C. F., Tapken, W., Malagoli, M., & Schiavon, M. (2009). Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 267-274.
- Ramírez-Martínez, M., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Castillo-González, A. M., Hernández-Ríos, I., & Hernández-Acosta, E. (2012). Bioacumulación de potasio, calcio y lantano en tulipán tratado con lantano. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 229-238.
- Salgado-García, S., Lagunes-Espinoza, L. C., Núñez-Escobar, R., Ortiz-García, C. F., Bucio-Alanis, L., & Aranda-Ibañez, E. (2013). *Caña de azúcar. Producción sustentable*. México: Mundi Prensa-Colegio de Postgraduados.
- Santos, C. M., Segura, A. M., & Nústez, L. C. E. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(1), 5253-5266.
- Sentíes-Herrera, H. E., Gómez-Merino, F. C., Valdez-Balero, A., Silva-Rojas- H. V., & Trejo-Téllez, L. I. (2014). The agro-industrial sugarcane system in Mexico: current status, challenges and opportunities. *Journal of Agricultural Science*, 6(4), 26-54.
- Serrano-Altamirano, V., Díaz-Padilla, G., López-Luna, A., Cano-García, M. A., Báez-González, A. D., & Garrido-González, E. R. (2006). *Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Chiapas (período 1961-2003)*. México: Centro de Investigación Regional Pacifico Sur, Campo Experimental Centro Chiapas. INIFAP.
- Silva, C. E., Martínez, F., Madrid, C., & León, T. (2013). *La floración en caña de azúcar, su manejo para mejoramiento genético y en la producción comercial*. Trabajo presentado en el III Congreso AETA de 2013.
- Tekalign, T. & Hammes, P. S. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and productive growth: II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 105(1), 29-44.
- Trejo-Téllez, L. I. & Gómez-Merino, F. C. (2007). Respuestas fisiológicas y bioquímicas de plantas de tabaco a concentraciones de aluminio en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 25(3), 251-259.
- Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., y Alcántar-González, G. (2016). Elementos benéficos. En Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F.C. (Eds.). *Nutrición de Cultivos* (pp. 57-101). México: Colegio de Postgraduados.

Welbaum, E. G. (2014). Sugarcane Physiology, Biochemistry & Functional Biology. En Moore, P. J. & Botha, F. C. (Eds.). *Water Relations and Cell Expansion of Storage Tissue*. (pp. 197-220). USA: Wiley-Blackwell.

Woo, R. J. L., Vázquez, A. R., Olivares, S. E., Zavala, G. F., González, G. R., Valdez, C. R., & Gallegos, C. V. (2004). Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. *Agrofaz*, 4(1), 437-441.

Xiao-dong, W., Ou-yang, C., Zhe-ren, F., Gao, S., Chen, F., & Tang, L. (2010). Effects of exogenous silicon on seed germination and antioxidant enzyme activities of *Momordica charantia* under salt stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 6(3), 700-708.

## **Caracterización morfo-agronómica de accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)**

DEL ROSARIO-ARELLANO, José Luis, MENESES-MÁRQUEZ, Isaac, ANDRÉS-MEZA, Pablo, ROSAS-GONZÁLEZ, Xóchitl, BECERRA-LEOR, Enrique Noé, LEYVA-OVALLE, Otto Raúl, VÁZQUEZ-HERNÁNDEZ, Andrés, GALINDO-TOVAR, María Elena, CEBADA-MERINO, Miguel y NÚÑEZ-PASTRANA, Rosalía

J. Del Rosario, I. Meneses, P. Andrés, X. Rosas, E. Becerra, O. Leyva, A. Vázquez, M. Galindo, M. Cebada y Rosalía Núñez

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

40 accessions of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) were characterized to determine the genetic diversity and assess their potential. Morpho-agronomical descriptors 48 (33 qualitative and quantitative 15) were used. It was determined that the descriptors have greater variability are: length and width of the central lobe of the leaf length and color of the petiole, color of the outer surface of mature stem extension root stalk, shape and color of the root bark, total number of storage roots and commercial real estate, so the same six groups of accessions were defined, finding materials with high dry matter content (> 35%) and percentage of starch, classified as quality parameters. The results show the existence of significant variability and contribute to promoting the use of indigenous biodiversity of cassava preserved.

## 6 Introducción

La familia *Euphorbiaceae* a la que pertenece la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una de las familias más diversas entre las angiospermas. La constituyen cinco subfamilias, 49 tribus, 317 géneros y cerca de 8100 especies, distribuidas principalmente en zonas tropicales y subtropicales del mundo en dos centros de concentración, México y Brasil (Martínez y Ramírez, 2012). En México se encuentra primordialmente a nivel de huerto familiar, cubriendo toda la franja costera del Golfo y la costa del Pacífico, cultivada con una tecnología tradicional (Meneses *et al.*, 2014).

Como cultivo la yuca es catalogada mundialmente como cuarto producto básico más importante después del arroz, trigo y maíz, formando parte de la dieta básica de aproximadamente 1000 millones de personas donde la mayor parte son familias de escasos recursos. Sin embargo, también se utiliza como materia prima en la elaboración de concentrados comerciales para animales, papel y textiles, biocombustible, almidón para la industria de alimentos y la farmacéutica etc. (Beovides *et al.*, 2014). En la actualidad los recursos fitogenéticos son un recurso esencial para la producción agrícola sostenible, su conservación y uso eficaz son fundamentales para salvaguardar la seguridad alimentaria, ahora y en el futuro. Para cumplir este desafío se requerirá un flujo continuo de cultivos mejorados y variedades adaptadas a condiciones de agroecosistemas particulares (FAO, 2014).

Por lo anterior existe la necesidad de explorar germoplasma nativo para evidenciar la variabilidad genética, desarrollar estrategias de conservación *in situ* y *ex situ*, búsqueda de nuevos cultivares para el desarrollo de genotipos más productivos y mejor adaptados a las condiciones que imponen el cambio climático, caracterización del germoplasma y posteriormente lograr la liberación de genotipos basados en las necesidades del productor, consumidor y el mercado. Para lograr tal fin se proponen los bancos de germoplasma donde, cabe mencionar que existen más de 6,000 variedades de yuca diversas en sus características biológicas y 20,000 accesiones distribuidas tan solo en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT- Colombia) (Mafla, 2007).

El presente estudio, se realizó con el objetivo de documentar la diversidad morfológica existente en 40 accesiones de yuca provenientes del estado de Chiapas y conservados *ex situ* en el Banco de Germoplasma de Yuca, ubicado en el Campo Experimental Cotaxtla del Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), así como valorar sus potencialidades y enriquecer los datos de la Red yuca del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI). Lo anterior, permitirá conocer las particularidades del germoplasma, a su vez que dará pauta en la identificación de materiales promisorios para a futuro continuar con evaluaciones de campo, elegir estrategias para un mejor aprovechamiento sostenible e integral, lo que contribuirá la base para su valoración, conservación así como el mejoramiento genético.

### 6.0.1 Importancia económica

Hasta hace pocas décadas la yuca era poco conocida, en parte porque sus productos no eran exportados, y porque la especie no se adapta a climas templados, aunado a la escasa producción realizada en fincas de pequeños agricultores y en áreas agrícolas marginales, consecuentemente, una proporción importante de la producción no se registra en las estadísticas de manera adecuada y precisa siendo las mejores reportadas por la FAO, pero los errores en las estimaciones pueden ser grandes (CIAT, 2002). En este sentido FAO (2014) reportó, que la yuca se cultiva en 103 países, en una superficie sembrada mayor a 27 millones de hectáreas, un rendimiento promedio de 9.6 t ha<sup>-1</sup> y con una producción de 262, 585,741 toneladas, y un valor de US\$ 25, 248,280.

En México durante el 2014, la superficie sembrada fue de 1521.34 hectáreas, con un rendimiento promedio de 13.13 t ha<sup>-1</sup> (Tabla 6), en el cual el estado de Tabasco lidera la producción nacional, seguido de Morelos, Michoacán, Veracruz, Yucatán, Estado de México y Guerrero (SIAP, 2014).

### 6.0.2 Diversidad genética

El género *Manihot* tiene alrededor de 180 especies, de las cuales, la única cultivada comercialmente es *M. esculenta* Crantz, cuyos sinónimos son: *M. utilissima*, *M. edulis* y *M. aipi*. Sin embargo, se han encontrado grupos que tienen gran afinidad morfológica con la especie cultivada, en este caso en México y América Central con *M. aesculifolia* y *M. rubricaulis*; Brasil, Paraguay y Argentina con *M. pilosa*, así también en regiones tropicales bajas con *M. leptopoda* y *M. caeruleascens* (Pincay, 2010). En México, la distribución de especies del género *Manihot* se extiende hasta la zona árida y templada, que corresponde a los estados de Sonora y Baja California Sur, toda la franja costera del golfo de México desde la Península de Yucatán, Tabasco, Veracruz y sur de Tamaulipas, así como la costa del Pacífico desde el estado de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Nayarit y Colima (Meneses *et al.*, 2014).

### 6.0.3 Disponibilidad y conservación en bancos de germoplasma

Los bancos de germoplasma resguardan pues la fuente de variabilidad requerida por los mejoradores de plantas para el desarrollo de variedades que permitirán al agricultor superar las limitaciones naturales a fin de obtener mayores beneficios de su actividad, así como asegurar la fuente contra la erosión genética (Demey *et al.*, 2003). La demanda por el germoplasma de yuca es sustancial y proviene de un rango amplio de usuarios externos y utilizados para diferentes propósitos. se encuentran bancos de germoplasma en: Brasil, Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA- Nigeria), Uganda, India, Malawi, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE- Costa Rica), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP- México) (Mafla, 2007; Meneses *et al.*, 2014).

### 6.0.4 Mejoramiento genético

En México, dentro de los resultados más importantes de investigación de la Red yuca destaca un diagnóstico a nivel nacional sobre la distribución y aprovechamiento del recurso en el país, la colecta y resguardo de 85 accesiones que permiten conocer la diversidad existente y al mismo tiempo tener material disponible para las actividades de caracterización; el trabajo en conjunto con más de 15 productores de Tabasco y Veracruz bajo el sistema de mejoramiento genético participativo para la identificación de materiales con características favorables como: facilidad de pelado, mejor sabor y mayor rendimiento; así como la multiplicación de 5 genotipos de fácil pelado y mayor producción para la entrega a productores de Veracruz (SINAREFI, 2008).

## 6.0.5 Caracterización de germoplasma

La gran variabilidad de ecotipos hace necesaria la recolección, resguardo, así como la necesidad de caracterizarlos y evaluarlos, utilizando para tal fin descriptores definidos que permitan la sistematización de los caracteres estudiados en todas las accesiones. Cabe recalcar que la interacción de los descriptores morfológicos con los descriptores bioquímicos y moleculares, conjuntamente con los datos de pasaporte, constituyen una herramienta importante para la identificación a nivel de especie en las colecciones (Fuenmayor *et al.*, 2005).

Las características morfológicas se utilizan para estudiar la variabilidad genética, identificar plantas y para conservar los recursos genéticos. Por lo tanto, es el primer paso en el mejoramiento de los cultivos y programas de conservación (Hernández, 2013). Pincay (2010) encontró, que dichas características además de depender del genotipo están fuertemente influenciadas por el medio ambiente tales como la presencia o ausencia de precipitaciones, fertilidad del suelo, daño por plagas y enfermedades etc. De ellas el vigor, color de hoja apical, ancho del lóbulo central, longitud del peciolo, altura de la planta y longitud de la raíz son altamente susceptibles.

En la actualidad, se cuenta con manuales para la caracterización de yuca, así es como se tienen los descriptores del International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) en 1983, empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) en 1998, Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) en 1998 y la del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología (INIA) en el 2001 (INIEA 2006).

## 6.1 Metodología

### 6.1.1 Ubicación del sitio experimental

Este trabajo se realizó en campo Cotaxtla del INIFAP, Veracruz, México, en el kilómetro 34.5 de la carretera libre Veracruz- Córdoba, en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, México. Situado geográficamente a los 18° 50' LN, y 97° 43' LO, y una altitud de 14 msnm (Rosas y Meneses, 2012). La temperatura media, mínima y máxima anual es de 25.4°C, 19.5°C y 31.3°C, la precipitación media anual es de 1336.8 mm (Díaz *et al.*, 2006).

### 6.1.2 Material vegetal

Se estudiaron 40 accesiones procedentes del estado de Chiapas y resguardadas *ex situ* en el Banco de Germoplasma de Yuca del INIFAP.

### 6.1.3 Descriptores evaluados

La caracterización de las accesiones se basó del manual “Selección Morfológica y Descriptores Agronómicos para la Caracterización de Yuca” (Fakuda *et al.*, 2001). Dicha publicación define 50 características o descriptores a evaluar a partir de los tres, seis, nueve meses y cosecha. Los datos que corresponden a los tres (dos descriptores) y seis meses (16 descriptores) fueron tomados por personal del Banco de Germoplasma el 13 de agosto y 19 de noviembre del año 2015. El 15 de febrero del 2016 se inició con la caracterización del descriptor 17 al 25 (nueve meses) de haberse establecido las accesiones.

Posteriormente, el 11 de abril se procedió con la caracterización del periodo de cosecha a partir del descriptor 26 al 48. Es necesario indicar que en algunas colecciones como la MMEXCH12, MMEXCH15, MMEXCH17, MMEXCH22, MMEXCH24, MMEXCH25, MMEXCH28, MMEXCH29, MMEXCH31, MMEXCH32 y MMEXCH35 se evaluaron menos de 4 plantas por causa de insuficiencia de material vegetal.

#### **6.1.4 Diseño del experimento**

La unidad experimental fue una planta, para el registro de datos se tomaron cuatro plantas por accesión, evaluando aquellas de surcos centrales para inhibir el efecto “orilla”. Cada accesión se encuentra en parcelas de siete surcos con una longitud de cinco metros y un metro de ancho así como una distancia entre plantas de un metro.

#### **6.1.5 Análisis estadísticos**

Una vez registrados los valores de cada variable, se examinaron y dividieron en variables cualitativas y cuantitativas. Las variables cualitativas se analizaron utilizando la estadística descriptiva mediante el uso de análisis de frecuencias absolutas y relativas para cada una de las accesiones.

Se realizó un análisis multivariado mediante el uso de componentes principales (ACP) utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2009). Para el proceso de la información, se estandarizaron los datos obtenidos, después se realizó una matriz de correlaciones de las 15 variables cuantitativas. Se consideraron los valores propios (eigenvalues) y los vectores propios (eigenvectors). Con el objetivo de determinar visualmente los descriptores que más contribuyen a la variabilidad así como la relación entre accesiones, se graficaron los componentes en un plano bidimensional (gráfica biplot) mediante el uso del paquete estadístico INFOSTAT (Rienzo *et al.*, 2011), así también, se sometió a un análisis de agrupamiento (cluster) expresado en un conglomerado jerárquico con el método de encadenamiento simple y la distancia euclidiana, resultando así un dendrograma que permitió agrupar y conocer más a fondo las colecciones que presenten similitud en características morfo- agronómicas.

### **6.2 Resultados**

#### **6.2.1 Variación morfológica de las accesiones**

##### **6.2.1.1 Análisis de datos cualitativos**

En total se evaluaron 33 características cualitativas, las cuales se analizaron mediante un análisis de frecuencia para cada órgano vegetativo. En las variables cualitativas de la hoja, para los descriptores color de la hoja adulta, color del brote apical y el color de la nervadura el color verde claro seguido del verde oscuro se presenta con mayor frecuencia entre las accesiones coincidiendo con; Acosta *et al.*, (2006) y Marín *et al.*, (2008) donde de los 19 clones en estudio el 60% presentaron follaje verde oscuro y el 40% restante verde claro. El color verde claro es un atributo fácilmente observable, que pueden ser altamente heredables y, por tanto, contribuye a una discriminación rápida de fenotipos, además se expresan en la misma forma en cualquier ambiente y, por tanto, constituye una característica varietal importante (Ceballos y de la Cruz, 2002; Demey *et al.*, 2003). En cuanto al color del peciolo se encontró una variabilidad importante, ya que 14 accesiones son de color púrpura, 10 de color rojo, 9 verde- rojizo y 7 verde- amarillento.

El resultado es muy parecido con Acosta *et al.*, (2006) quienes reportaron que el color predominante de 11 clones de yuca fueron rojo en diferentes tonalidades, seguido por el color verde. De acuerdo con Marín *et al.*, (2008) el color de peciolo es considerado como una característica varietal que permite la identificación de genotipos de yuca.

En cuanto a la orientación del peciolo se encontró variabilidad entre las accesiones ya que la orientada en dirección horizontal e inclinado hacia arriba, aunque alcanzaron frecuencias altas (87.5 %) también fue posible observar peciolos inclinados hacia abajo (7.5%), así como orientación irregular (5%).

Para el tallo, en el descriptor color de la epidermis del tallo, se encontró variación entre las accesiones ya que las había de color café claro (47.5%) y crema (42.5%), mientras que el 10% correspondía al color café oscuro, el cual comprende las accesiones MMEXCH1, MMEXCH6, MMEXCH39 y MMEXCH40.

En cuanto al color de la superficie externa del tallo maduro estos son gris con 33 accesiones (82.5%), seguido de café claro con 5 (12.5%), café oscuro con 1 (2.5%) y 1 accesión verde- amarillento (2.5%). Este carácter presentó gran variabilidad, coincidiendo con Ceballos y de la Cruz (2002) y Marín *et al.*, (2008), quienes reportaron que esta característica varía significativamente, dependiendo del clon y de la edad de la planta.

En base al hábito de ramificación también tiene una variación importante ya que el 50% de las accesiones fueron dicotómicas, 42.5% tricotómicas, y el 5% erecta en este último caso con las accesiones MMEXCH22, MMEXCH37 y MMEXCH40. En base a esta información las accesiones con el tipo de ramificación, dicotómico y tricotómico, son buenos productores de semilla.

Por último, en cuanto a la forma de la planta el carácter dominante es de tipo sombrilla con 16 accesiones, compacta con 13 y cilíndrica en 11 accesiones. Como se ha encontrado en casi todos los casos esta característica también posee gran variabilidad dentro de las accesiones evaluadas.

Las características de las raíces reservantes también son útiles en la identificación de genotipos en este cultivo, dada su amplia variabilidad (Marín *et al.*, 2008), estas pueden adquirir formas y tamaños muy variables, siendo dependientes tanto de la variedad como de las condiciones ambientales en que la planta crece (Ceballos y de la Cruz, 2002).

Se encontró que hay variabilidad importante con respecto a la extensión del pedúnculo de la raíz, para este descriptor hay accesiones con raíz pedunculada (50%), mezclada (42.5%) y sésil (7.5%) esta última en las accesiones MMEXCH6, MMEXCH7 y MMEXCH28. Resultado similar a lo encontrado por Torres (2012), quien observó que 29 de 37 accesiones presentan una raíz pedunculada. Según Ceballos y de la Cruz (2002), señalan que esta característica es de importancia económica, ya que durante la cosecha en la separación de raíces sésiles se producen daños en la zona de corte, que aceleran el deterioro fisiológico poscosecha y cuando el pedúnculo es muy largo (>10cm) es necesario remover gran cantidad de suelo para su extracción y si el pedúnculo se rompe ocurren mayores pérdidas de raíces, ya que las raíces de interés comercial permanecen en el suelo.

La forma de la raíz se encuentra en un 47.5% irregular, un 42.5% cónica cilíndrica y solo cuatro accesiones son cilíndricas, resultado muy parecido a lo que obtuvo Marín *et al.*, (2008) quien encontró que de 19 clones de yuca la forma varió de cónica- cilíndrica (66.66%) a cilíndrica (33.33%), recalando que estas son clones elites de yuca mejorados por el CIAT e introducidos en Venezuela y donde raíces irregulares para su cultivo son una característica indeseada.

En cuanto a la posición de las raíces o la dirección del crecimiento, aunque no se registró se pudo observar que la dirección más frecuente fue la horizontal, siendo esta característica favorable ya que según Montaldo (1991) de los tipos cultivados se seleccionan los de este tipo de crecimiento. Se pudo notar que en la cosecha manual de raíces con crecimiento vertical tienden a romperse, lo que provoca pérdidas en la cosecha. La pulpa constituye la parte utilizable de la raíz, por lo tanto, es el tejido de mayor relevancia económica (Ospina y Ceballos, 2002). Para el color de la pulpa fue crema (57.5%), blanco (37.5%) y un 5% amarillas (MMEXCH17 y la MMEXCH18). Cabe mencionar que la pulpa blanca es una característica de preferencia en la industria para elaboración de harinas, a su vez que es la más preferida para el mercado en fresco (Polanco, 1998). Del total de las accesiones 31 son difíciles de pelar, mientras que MMEXCH10, MMEXCH11, MMEXCH12, MMEXCH13, MMEXCH14, MMEXCH18, MMEXCH23, MMEXCH24 y MMEXCH29 son fáciles de pelar. La facilidad de pelado es una característica relacionada con la textura, ya que se encontró en su mayoría que las accesiones difíciles tienen una textura rugosa e intermedia, y aquellas fáciles de pelar contienen textura suave. Por otro lado, el sabor en la mayoría de las accesiones es intermedia en un 57.5%, dulce en un 32.5% y amarga en un 10%. Cabe recalcar que la experiencia de los productores demuestra que, más que los rendimientos del cultivo les dan mayor importancia a otras características como la calidad culinaria, su precocidad, o incluso el color y forma de la raíz (Beovides *et al.*, 2014).

La flor y polen está ausente a los 6 meses de hacer la caracterización en casi todo el germoplasma (92.5%), sin embargo, en las accesiones MMEXCH 1, MMEXCH7 y MMEXCH8 (7.5%) se encontraron escasas plantas con estas características, a su vez se pudo observar una pequeña cantidad de frutos en las mismas. Esto es contrario a lo reportado por Pincay (2010) quien encontró que de 141 accesiones el 96.45% florecieron y el 3.55% no alcanzaron a florecer. Se detectaron presencia de más floración y polen en forma muy esporádica solo en pocas plantas por accesión hasta el octavo mes, y a partir de las cuales posteriormente se originaron frutos. Y es que, aunque no es importante para la reproducción y multiplicación habitual, según Marín *et al.*, (2008) la floración es una característica de importancia en el fitomejoramiento, ya que permite la realización de cruces entre clones seleccionados y con ello la obtención de nuevos clones genéticamente superiores. Para el periodo de cosecha hay presencia de fruta y semillas sólo en un 10%, correspondiendo a las accesiones: MMEXCH1, MMEXCH4, MMEXCH7 y MMEXCH8.

### 6.3 Análisis de datos cuantitativos

En la tabla 6, se pueden visualizar los descriptores que describen a las variaciones obtenidas mediante ACP. El resultado señala que con las cuatro componentes principales se explica el 68.977% de la variación, lo que indica que probablemente la variabilidad está muy repartida entre todos los descriptores que representan la amplia diversidad de las accesiones en estudio. Se puede visualizar que el CP1 está altamente correlacionado con la mayoría de las variables, donde la longitud del lóbulo de la hoja recibe el peso positivo más alto de variabilidad entre las accesiones seguido del ancho del lóbulo de la hoja, longitud del peciolo, niveles de ramificación, número de raíces reservantes, número de raíces comerciales, niveles de ramificación, grosor de la corteza e índice de cosecha.

La segunda componente está más correlacionada con contenido de materia seca y contenido de almidón, posteriormente altura a la primera rama, ángulo de la primera rama, así como la relación de la longitud con el ancho del lóbulo central. En el CP4 se agrupan las colecciones en base a la altura de la planta. Con esto se demuestra que estas son las características con mayor influencia en la distinción de grupos.

**Tabla 6** Vectores y valores propios del análisis de componentes principales con las respectivas variables y valor descriptivo de la varianza total en colecciones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) procedentes del estado de Chiapas

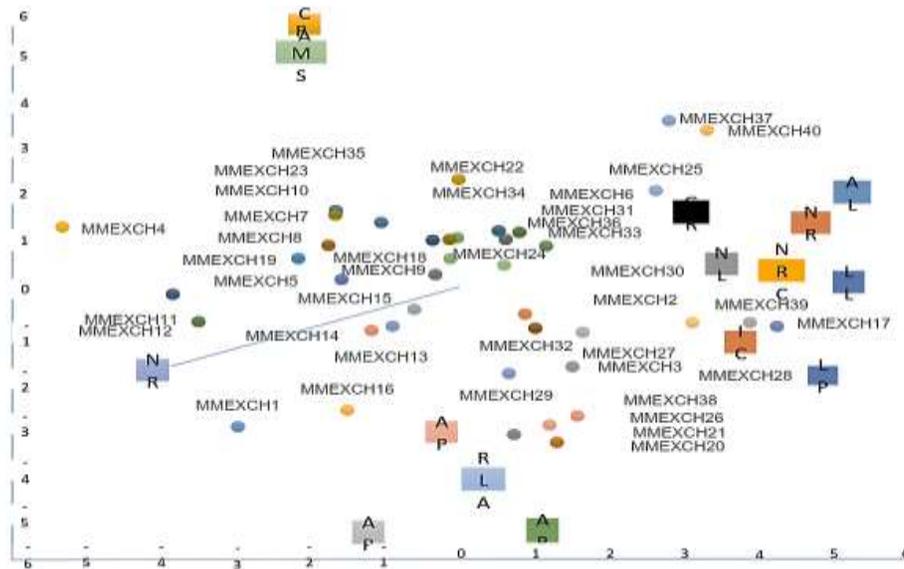
| Descriptor                                              | CP1      | CP2      | CP3      | CP4      |
|---------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Número de lóbulos de la hoja                            | 0.55962  | -0.05047 | -0.06723 | -0.0335  |
| Longitud del lóbulo de la hoja                          | 0.88267  | -0.00742 | -0.13708 | -0.28688 |
| Ancho del lóbulo de la hoja                             | 0.81221  | -0.24596 | -0.32126 | -0.32161 |
| Relación de la longitud con el ancho del lóbulo central | 0.01393  | 0.53536  | 0.38276  | 0.09428  |
| Longitud del peciolo                                    | 0.78081  | 0.20289  | -0.39054 | -0.0282  |
| Altura de la planta                                     | -0.01359 | 0.35438  | -0.20765 | 0.75423  |
| Altura a la primera rama                                | 0.11958  | 0.71263  | 0.35202  | 0.12408  |
| Niveles de ramificación                                 | -0.60107 | 0.20332  | -0.38734 | -0.23372 |
| Ángulo de la rama                                       | -0.15647 | 0.63826  | 0.257    | -0.47558 |
| Número de raíces reservantes /planta                    | 0.70052  | -0.17792 | 0.16423  | 0.41218  |
| Número de raíces comerciales por planta                 | 0.67349  | -0.03341 | 0.34633  | 0.16728  |
| Grosor de la corteza                                    | 0.47743  | -0.45908 | -0.02279 | 0.15413  |
| Contenido de materia seca                               | -0.3156  | -0.79865 | 0.31892  | -0.03062 |
| Contenido de almidón                                    | -0.31558 | -0.79863 | 0.31893  | -0.03057 |
| Índice de cosecha                                       | 0.60696  | 0.11961  | 0.56925  | -0.26344 |
| Valores propios                                         | 4.50194  | 3.00650  | 1.48357  | 1.35452  |
| Varianza explicada (%)                                  | 0.30013  | 0.20043  | 0.09890  | 0.09030  |
| Varianza acumulada (%)                                  | 0.30013  | 0.50056  | 0.59947  | 0.68977  |

Graficar los componentes principales en un plano bidimensional, permite agrupar las accesiones por similitudes y formar grupos homogéneos.

En el Gráfico 6, se representan las dos primeras componentes (CP1 y CP2) para el conjunto de las 15 variables y se han superpuesto sobre el gráfico vectores que representan a las variables originales. Este nos indica que las variables como: longitud y ancho del lóbulo de la hoja, longitud del peciolo, número de raíces de almacenamiento y raíces comerciales existe una gran variabilidad entre las 40 accesiones.

Los puntos azules muestran la distribución de las accesiones donde se puede notar la similitud de variables que comparten en común.

**Gráfico 6** Dispersión de 40 colecciones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) mediante los componentes principales CP1 y CP2



En el análisis de conglomerados o cluster (Gráfico 6.1), se puede observar que las accesiones que aparecen juntas y marcadas con el mismo color forman parte de un mismo grupo esto, con base en la similitud de características. Así se indica la existencia de seis grupos de accesiones y dos subgrupos bien diferenciados en donde apoyándose con la información del biplot se obtiene lo siguiente:

El primer grupo formado solo por la accesión MMEXCH1 se caracteriza por poseer mayor número de niveles de ramificación, en este caso de 6 ubicados a partir de los 73 centímetros. Este resultado coincide con Pincay (2008) quien indica que estas ramificaciones pueden dar origen hasta dos tres y cuatro ramas, a su vez tanto el número y la prontitud con la que se producen estas ramificaciones influye de manera notable en la arquitectura de la planta. En cuanto a la altura de la primera rama, este es un carácter importante desde el punto de vista agronómico ya que influye especialmente en la eficiencia de las labores de escarde y limpias ya sean manuales, con bueyes o mecanizadas, así como las aplicaciones de herbicidas (Beovides *et al.*, 2014; Montaldo, 1991). Posee 5 lóbulos por hoja con una longitud de cada uno de 10 y 2 cm de ancho, una hoja palmeada relativamente pequeña, lo que explica el tamaño pequeño del peciolo (9.5 cm). Posee en promedio 3 raíces comerciales ( $\geq 20$  cm) con uno de los más bajos contenidos de materia seca puesto alcanzó un valor de 26.54% repercutiendo directamente en el contenido de almidón con un 13.017%.

El segundo grupo: MMEXCH20, MMEXCH21, MMEXCH26, MMEXCH27 y MMEXCH38, se caracterizan por contener la altura de planta más grande con respecto a las demás accesiones, esta comprende desde 2.9 a 3.667 metros a su vez con solo una rama localizada aproximadamente a 10 cm de la punta. Según Montaldo (1991) este grupo se clasifica como plantas de porte alto puesto miden más de 2.5 metros y según Bellotti, (2002) la altura va a depender indispensablemente de las condiciones climáticas como también de la presencia de plagas. Poseen entre 4 y 6 raíces comerciales a excepción de MMEXCH21 y MMEXCH26 con 3 raíces. A su vez con un bajo contenido de materia seca (27.894%) incidiendo directamente en el bajo porcentaje de almidón (13.976%).

El tercero grupo: MMEXCH40, MMEXCH37, MMEXCH25, y MMEXCH22 se caracteriza por tener accesiones con una corteza de raíz gruesa con valores de entre 2 a 3.34 milímetros.

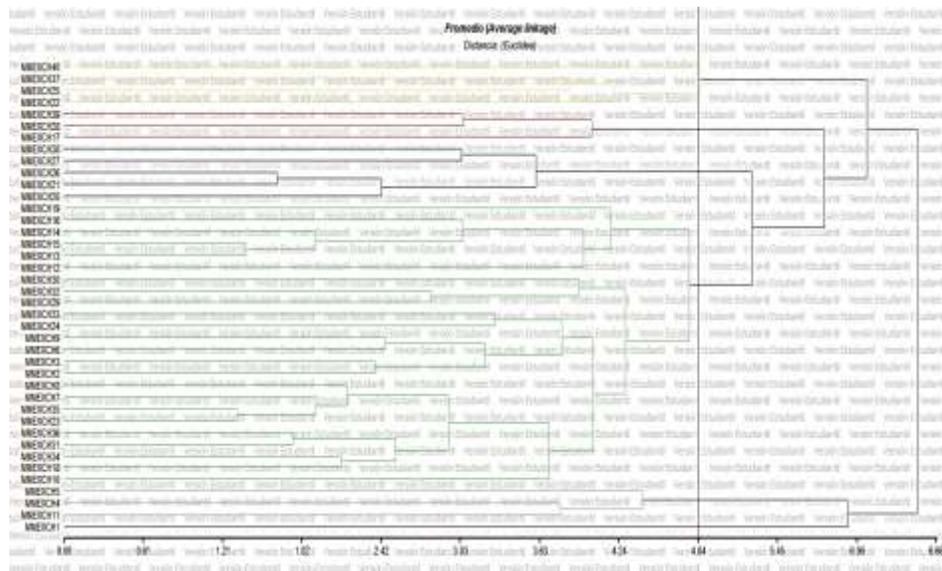
Poseen porte muy alto puesto alcanzaron medidas de 2.583 a 3.417 metros sin ninguna ramificación lo que significa que poseen dominancia apical. De igual forma tienen el mayor número de raíces de almacenamiento (10 raíces), excepto la accesión MMEXCH25 y MMEXCH22 con 6 y 7 raíces. Sin embargo, esta última característica afectó en el número de raíces comerciales (5 y 3 respectivamente), pudiéndose explicar que existe competencia entre ellas.

El cuarto grupo que es el más amplio, se caracteriza por poseer plantas altas, alcanzando una altura promedio de 3.037 metro. Son visibles dos subgrupos donde el primero está conformado por 6 de las 24 accesiones, nombradas a continuación: MMEXCH19, MMEXCH16, MMEXCH14, MMEXCH15, MMEXCH13, MMEXCH12, estas accesiones son similares en contenido de materia seca, ya que comprenden entre 25.489 y 32.152%, para contenido de almidón en 12.273 y 16.992%, para el índice de cosecha en 0.345 y 0.521. Además, las plantas poseen ángulos de ramificación muy cerrados de entre 46.667° a 65° y con solo 2 raíces comerciales.

El segundo subgrupo está conformado por: MMEXCH30, MMEXCH32, MMEXCH29, MMEXCH33, MMEXCH24, MMEXCH9, MMEXCH6, MMEXCH3, MMEXCH2, MMEXCH8, MMEXCH7, MMEXCH35, MMEXCH23, MMEXCH36, MMEXCH31, MMEXCH34, MMEXCH18 y MMEXCH10, destacados por los más altos contenidos de materia seca (25.736- 37.555%) que a su vez incide directamente en el contenido de almidón (12.447- 20.819%). Esto debido a que existe una relación directa entre el contenido de almidón (%AL) y el contenido de materia seca (%M. S) obtenidos a partir del método de gravedad específica. También alcanzaron el índice de cosecha más alto de las accesiones (0.449- 0.673), una longitud de peciolo entre 12.6 y 23 cm., y buena cantidad de raíces comerciales (2- 7). Los descriptores relacionados con la altura de la planta, la cantidad de raíces comerciales y su peso, así como el grosor del tallo, son usualmente muy apreciados por productores y mejoradores por su contribución al rendimiento y a la calidad de la semilla, resultando por tanto significativamente valiosos cuando se trata de evaluar o caracterizar una colección de trabajo de interés para el mejoramiento (Ceballos *et al.*, 2012).

El quinto grupo: MMEXCH4, MMEXCH5 y MMEXCH11, son similares en la cantidad de número de lóbulos que en este caso con 5. Con plantas altas, pues miden de entre 2.66 a 3.54 metros. A su vez con muy pocas raíces comerciales ya que en promedio se encuentran solo 2 raíces, las cuales tienen una buena cantidad de materia seca (32.477- 35.413%) y a su vez con buen contenido de almidón (17.222- 19.903%).

El sexto grupo: MMEXCH39, MMEXCH28 y MMEXCH17 posee la longitud del lóbulo más grande, en la en este caso entre 16 y 20 centímetros y con un ancho de entre 5 y 6 cm estando muy correlacionados con la longitud del peciolo puesto midieron de 23 y 38 cm. A su vez con altura a la primera rama de entre 0.90 a 1.64 m. y con 3 a 5 niveles de ramificación. De acuerdo con Montaldo (1991) estas accesiones quedan clasificadas como de ramificación intermedia (50- 100 cm) y alta ( $\geq 100$ ), prefiriendo plantas altas, puesto hacen más fácil las labores del cultivo especialmente para realizar labores de escarda y limpias. Se pudo notar una pérdida mínima en la cosecha de raíces comerciales ya que de entre 7 y 8 raíces entre 5 y 7 cumplían los requerimientos para comercializarse ( $\geq 20$  cm). Sin embargo, se pudo notar en este grupo que entre más raíces comerciales más bajo el contenido de materia seca (25.654- 28.794%) y por ende el de almidón.

**Gráfico 6.1** Cluster de las 40 accesiones mostrando 6 conglomerados

## 6.4 Conclusiones

Se logró documentar la caracterización (48 descriptores) de las 40 accesiones provenientes del estado de Chiapas, sin embargo, es necesario que se caracterice el germoplasma con marcadores moleculares, ya que, sumado a los descriptores morfológicos, proveerán una mejor descripción e interpretación de la diversidad genética de la especie en México.

Los descriptores donde existe mayor variabilidad evaluados son: longitud y ancho del lóbulo central de la hoja; longitud, color y orientación del peciolo; color de la superficie externa del tallo maduro; color de la epidermis del tallo; habito de ramificación; extensión del pedúnculo de la raíz; forma y color de la corteza de la raíz; número tanto de raíces totales de almacenamiento y raíces comerciales.

Se encontraron materiales con alto contenido de materia seca y porcentaje de almidón, los cuales son definidos como parámetros de calidad, en ellos se encuentran: MMEXCH4, MMEXCH7, MMEXCH8, MMEXCH10, MMEXCH18, MMEXCH23, MMEXCH31, MMEXCH35 y MMEXCH 36 a su vez con una buena cantidad de raíces comerciales. Sin embargo, es apropiado evaluar los mismos individuos más de dos ciclos para reafirmar los resultados obtenidos. Una vez hecho se podrían a futuro tomar en cuenta para evaluaciones con agricultores interesados, así como abrir pauta para el mejoramiento genético en yuca.

## 6.5 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyarme con la beca en los dos años del posgrado en la Maestría de Horticultura Tropical.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) a través del Doctor. Issac Meneses Márquez director de tesis y la Ing. Xochitl Rosas Gonzáles por su asesoría.

A mi director de tesis, Doctor. Pablo Andres Meza, por su inigualable espíritu de investigación y aplicación de la información.

## Referencias

- Acosta R. A. R., A. Tamayo C., R. Palacios. 2006. Caracterización morfológica y extracción de ADN de 11 clones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) en La Universidad Earth, Costa Rica. *Tierra Tropical*. 2:67–75.
- Beovides G. Y., M. Milián J., O. Coto A., A. Rayas C., M. Basail P., A. Santos P., J. López T., V. R. Medero V., J. A. Cruz A., E. Ruíz D., D. Rodríguez P. 2014. Caracterización morfológica y agronómica de cultivares cubanos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Cultivos Tropicales*, Cuba. 35:50. (Disponible en línea en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193230070006>).
- Ceballos, H y G.A. de la Cruz A. 2002. Taxonomía y morfología de la yuca. In: *La yuca en el tercer milenio*. Ospina, B. y H. Ceballos (comps.). Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, pp: 15–32. (Disponible en línea en: <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=I18Dz9sYZO8C&oi=fnd&pg=PA16&dq=Taxonom?a+y+Morfolog?a+de+la+Yuca&ots=JRvOPFulz&sig=VfOgFncF8P6Avr0h9k42Kino6QE\nhttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=I18Dz9sYZO8C&oi=fnd&pg=PA16&dq=Taxonom?a+y+morfolog?a+de>).
- Ceballos, H., C. Hershey y A. Becerra L. 2012. New approaches to cassava breeding. In: *Plant breeding reviews*, 1ra. edition. Jules J. (ed.). Wiley- Blackwell. John Wiley & Sons, Inc. (EE. UU). 36:427-504.
- Demey R. J., A. Zambrano Y., F. Fuenmayor. and V. Segovia. 2003. Relación entre caracterizaciones molecular y morfológica en una colección de yuca. *Interciencia*, 28:684–689. (Disponible en línea en: [www.interciencia.org](http://www.interciencia.org)).
- Díaz P. G., J. U. Ruíz C., M. Á. Cano G., V. Serrano A., G. Medina G. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (Periodo 1961-2003). 1ra edición. INIFAP (ed), Medellín de Bravo, Veracruz. 13: 90- 92. (Disponible en línea en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3416>).
- Rienzo, J. A., F. Casanoves., M. G. Balzarini., L. González., M. Tablada., C.W. Robledo. 2011. *InfoStat*. Versión 24-03-2011. Programa de cómputo. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba. (Disponible en línea en: <http://www.infostat.com.ar/>).
- FAO. 2014. Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, Roma, Italia. 167 p. (Disponible en línea en: [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)).
- Fuenmayor, F., V. Segovia., J. G. Albarrán., A. Rodríguez., W. Cabaña. 2005. Banco de Germoplasma de yuca del INIA-CENIP Venezuela. CENIP-INIA. (Disponible en línea en: [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/ceniaphoy/articulos/n7/arti/fuenmayor\\_f/arti/fuenmayor\\_f.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n7/arti/fuenmayor_f/arti/fuenmayor_f.htm)
- Mafla, G., Debouck, D. G. 2007. Alternativas para la conservación de recursos genéticos en bancos de germoplasma. in "XVII Congreso venezolano de botánica", (Venezuela), 1:30–33. (Disponible en línea en: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>).

- Marín, A., D. Perdomo., J. G. Albarrán., F. Fuenmayor., C. Zambrano. 2008. Evaluación agronómica, morfológica y bioquímica de clones élites de yuca a partir de vitroplantas. *Interciencia*, 33:365–371.
- Martínez G. M., J. Jiménez R., R., García., A. Cervantes., R. Mejía H. 2002. Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. *Serie Botánica*. 73:155-281.
- Meneses M. I., A. Vázquez H., X. Rosas G., E. N. Becerra L. 2014. Colecta y conservación ex situ de germoplasma de yuca en el estado de Veracruz. In: XXVI Reunión Científica- Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2014 y III Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical. Villahermosa, Tabasco, México. pp. 391–396.
- Montaldo, Á. 1991. Cultivo de raíces y tubérculos tropicales, San José Costa Rica. 2da. Edición. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). pp: 131- 224.
- Pincay A. L. M. 2010. Caracterización agronómica, morfológica y molecular del banco de germoplasma de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) de la estación experimental Portoviejo del INIAP. Tesis profesional. Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Agronomía, Manabí, Ecuador. 61 p.
- Polanco, D. 1998. Caracterización morfológica, isoenzimática, contenido de cianuro y almidón en el banco de germoplasma in vivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Tesis profesional. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 99 pp.
- SIAP. 2014. Cierre de producción agrícola por cultivo. (Disponible en line en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. (Consulta: 26 octubre 2015).
- SINAREFI. 2008. [www.sinarefi.org.mx](http://www.sinarefi.org.mx). Especies del genero *Manihot* en México. (Disponible en línea en: [http://www.sinarefi.org.mx/redes/red\\_yuca.html#cajaIntro](http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_yuca.html#cajaIntro)) (Consulta: 08 de marzo de 2016).
- Statistic Analisys System, SAS Institute Inc., Cary North Carolina, EE. UU. 2009.
- Torres V. L. A. 2012. Caracterización morfológica de 37 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) del banco de germoplasma del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 88 p.

**Productividad agrícola del agua en nogal pecanero (*Carya illinoensis* [Wangenh] K. Koch) producido en el municipio de San Pedro, Coahuila**

RÍOS-FLORES, José Luis, TORRES-MORENO, Marco Antonio y TORRES-MORENO, Miriam

J. Ríos`, M. Torres`` y M. Torres```

`Universidad Autónoma Chapingo - Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Domicilio Conocido Carretera Gómez Palacio – Chihuahua, Bermejillo, Durango, C.P. 35230. Tel. + 52 (871) -7760160

``Innovación Ambiental para la Conservación y Desarrollo Sustentable A.C. Diego Rivera No.1 Int. 203 Unidad ISSSTE Texcoco Edo de México

```SAGARPA, Delegación-Región Lagunera-Subdelegación de Planeación y Desarrollo Rural, Cd. Lerdo, Dgo., Calle Chihuahua No 14OTE. C.P. 35000 México

j.rf2005@hotmail.com

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

This work aims to determine the water productivity in pecan produced in the municipality of San Pedro, Coahuila, Mexico, under conditions of irrigation by pumping and gravity. The productivity of water in physical to compare to the DR017 terms was  $0.062 \text{ kg m}^{-3}$  vs.  $0.075 \text{ kg m}^{-3}$ , indicating that the municipality of San Pedro was 18% less productive. The pecan in the municipality of San Pedro employment  $16.19 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ , while in the DR017 were  $13.25 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ . In addition, an  $\text{hm}^3$  of water generated 12.6 jobs in San Pedro and 14.7 jobs in the DR017. It is concluded that in terms of physical and economic water efficiency, the orchard pecan established in DR017 was more productive in related to San Pedro, Coahuila in physical and economic terms.

## 7 Introducción

La agricultura es el mayor usuario de agua, lo que representa casi el 70% de las extracciones a nivel mundial, y hasta 95% en los países en desarrollo, lo que constituye un reto enorme para producir alimento para una población cada vez más creciente con menor tierra y agua, lo que obligadamente nos conduce a incrementar la productividad del agua en el sector agrícola. Cai & Rosegrant (2003), mencionan que la productividad generalmente se define como el rendimiento obtenido por metro cúbico de agua consumido, y que la productividad varía de región a región y de parcela a parcela dependiendo de muchos factores, tales como patrón de cultivos, patrones climáticos, sistemas de riego, manejo del agua en la parcela, el tipo de suelo, así como la mano de obra, la fertilización y la maquinaria que se emplee.

De acuerdo con la FAO (2002), la productividad del agua se denomina eficiencia y esta no es más que la cantidad o relación de la cantidad de producto obtenido que se genera o “salidas” y la cantidad de agua que se utiliza o “entradas” para producir tal producto. Estas “salidas” podrían ser biológicas tales como cultivos (granos, frutas o verduras), o animales (carne, leche, huevo, pescado, piel, o lana) y se puede expresar en términos de rendimiento productivo, rendimiento nutricional, o valor económico.

Hoekstra y Chapagain, (2004), en el caso de la producción de nuez de cáscara a nivel mundial utiliza el 2% del total del agua que es utilizada para riego en todo el mundo, al igual que la producción del café y del mijo, mientras que el maíz utiliza 9% del total del agua utilizada para riego. Wilchens, (2001), menciona que la producción de nuez con cáscara en el caso de México utiliza  $2,811 \text{ m}^3$  de agua por tonelada de nuez con cáscara producida en el país, mientras que el pistacho, que también es característico de la región utiliza  $25,496 \text{ m}^3$  de agua por tonelada, la naranja  $772 \text{ m}^3$  de agua por tonelada, las mandarinas, nectarinas y chabacanos  $3,165 \text{ m}^3$  de agua por tonelada, mientras que la vid consume  $601 \text{ m}^3$  de agua por tonelada, la sandía utiliza  $236 \text{ m}^3$  de agua por tonelada y el melón  $169 \text{ m}^3$  de agua por tonelada de producto (Hoekstra y Chapagain, 2004).

De acuerdo con Hoekstra y Hung (2005), existen diferencias entre países en cuanto a la eficiencia productiva del agua en el nogal, por ejemplo mientras que en México como ya se mencionó antes se utilizan  $2,811 \text{ m}^3$  de agua por tonelada de nuez, al comparar contra los principales países productores de nuez de cáscara se observa que Australia utiliza  $2,623 \text{ m}^3$  de agua por tonelada de nuez, Argentina  $1,702 \text{ m}^3$  de agua por tonelada de nuez, Sudáfrica  $2,759 \text{ m}^3$ / tonelada, Perú  $2,077 \text{ m}^3$ / tonelada, Israel  $949 \text{ m}^3$ / tonelada, Brasil  $2,087 \text{ m}^3$ / tonelada, Egipto  $2,122 \text{ m}^3$ / tonelada y Estados Unidos  $1,150 \text{ m}^3$ / tonelada.

La producción de alimentos y el uso del agua son dos procesos estrechamente vinculados. A medida que la competencia por el agua se intensifica en todo el mundo, el agua en la producción de alimentos debe ser utilizada de manera más eficiente (Pasquale, Hsiao y Federes, 2007).

El concepto de la productividad del agua fue establecido por Kijne *et al.* (2003) como una medida sólida para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir el agua en alimento. Sin embargo la determinación de tal concepto en la práctica se utilizara como una herramienta de diagnóstico para determinar la eficiencia del uso del agua ya sea alta o baja en los sistemas agrícolas o subsistemas; y en segundo lugar, proporciona una visión sólida para la determinación en las oportunidades de redistribución de agua en las cuencas hacia un objetivo de aumento de la productividad del agua a escala de cuenca y global. Lo que finalmente permitirá a los tomadores de decisiones hacer juicios acerca de qué alternativas puede haber para resolver los problemas técnicos, de la productividad del agua, acerca de si una región es o no eficiente en la producción agrícola. Por ello el objetivo de este trabajo fue la determinación de la productividad física, monetaria y social del nogal pecanero del municipio de San Pedro, perteneciente al Distrito de Riego 017, Comarca Lagunera.

## 7.1 Metodología

### 7.1.1 Fuentes de información

Se utilizó la base de datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) del ciclo agrícola 2014, empleándose datos de producción, rendimiento, superficie sembrada y cosechada del cultivo de cebolla en condiciones de riego rodado o de gravedad y de bombeo producido en el Distrito de Riego 017, Comarca Lagunera.

Los datos base permitieron la obtención de las siguientes variables económicas: Rendimiento físico por hectárea ( $\text{ton ha}^{-1}$ ), precios por tonelada en pesos mexicanos, y los costos de producción por hectárea, los cuales consistieron en añadirle a los costos de operación reportados por SAGARPA (cuyos rubros componentes son preparación del suelo, siembra y fertilización, labores culturales, fitosanidad, riego, cosecha y seguro agrícola) costos fijos por depreciación de maquinaria y equipo, renta del suelo y costos financieros. A su vez, las variables anteriores permitieron la obtención de todas y cada una de las demás variables.

Las láminas de riego (LR) recomendadas por el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Aguas-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA) institución encargada de generar tecnología agrícola acerca de las necesidades hídricas de los cultivos, dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con sede en Gómez Palacio, Durango, México, mediante su programa de software D'RIEGO versión 1.0

### 7.1.2 Ecuaciones matemáticas empleadas y variables

Variables de productividad del suelo, de dominio general:

Rendimiento físico “RF”, medido en  $\text{ton ha}^{-1}$ , o en  $\text{kg ha}$ , según se lo demande en la ecuación pertinente, el RF está determinado por la ecuación:

$$\text{RF} = \frac{\text{Producción}}{\text{superficie cosechada}} = \frac{\text{ton de producto}}{\text{una ha}} = \frac{\text{kg de producto por ha}}{\text{una ha}} \quad (7)$$

Ingreso por ha, llamado también rendimiento monetario “RM”, medido en MX\$, determinado por la ecuación:

$$RM = RF * p \quad (7.1)$$

Donde:

$p$  = precio  $\text{ton}^{-1}$ , en US\$.

Ganancia Bruta por ha “gb”, medida en MX\$, determinado por la ecuación:

$$gb = RM - CO \quad (7.2)$$

Donde:

“CO” es el costo de operación por ha en MX\$.

Ganancia Neta por ha “gn”, medida en MX\$, determinado por la ecuación:

$$gn = RM - CN \quad (7.3)$$

Donde:

“CN” es el costo total por ha en MX\$, donde C incluye depreciación de capital fijo y renta del suelo.

Relación Beneficio –Costo “RB/CN”, donde “RB” es lo señalado arriba como “RM”, esto es el ingreso por hectárea, mientras que “CN” es el costo neto. También se puede considerar al costo bruto “CB” en vez de CN, ello implicaría que la RB/C estaría saliendo artificialmente alta, es decir, estimar la RB/C con CN es más exacta en tanto el costo por hectárea es más real, más elevado que CB. Se le estimó con el modelo:

$$RB/C = \frac{RM}{CN} \quad (7.4)$$

Productividad social del capital “Empleos  $\text{MMX}^{-1}$ ”, medido como la cantidad de empleos generados por cada millón de pesos invertidos en la producción, determinado por la ecuación:

$$E_{\text{MMX}} = \frac{31250}{9} \left( \frac{J}{CN} \right) \quad (7.5)$$

Donde:

“CN” es el costo neto por hectárea, es decir aquel costo que ya tomó en cuenta a la depreciación de maquinaria y equipo y la renta del suelo, puede también tomarse el costo bruto.

“CB” o costo de operación (esto es, el costo por hectárea que aún no considera la depreciación de maquinaria y equipo ni la renta del suelo), pero en tanto CB es mayor que CN, necesariamente “E MMX\$” será menor.

Otra forma de productividad **social** del capital, es aquella que mide a la cantidad de capital invertido necesario para crear un empleo permanente, llamémosle “MX\$ E<sup>-1</sup>”, el cual está dado por la ecuación:

$$\text{MX\$E}^{-1} = 288 * \left( \frac{CN}{J} \right) \quad (7.6)$$

### 7.1.3 Variables de Huella Hídrica

Huella hídrica en términos físicos, como índice de productividad física del agua, en Kg m<sup>-3</sup>, determinado por la ecuación:

$$\text{kg m}^{-3} = \frac{RF}{V} = \frac{RF}{10,000LR} = 0.0001RF(LR)^{-1} \quad (7.7)$$

Donde “V” es el volumen de agua usado por ha (en m<sup>3</sup>), equivalente al producto de la lámina de riego “LR” por 10 mil m<sup>2</sup>.

Huella hídrica en términos físicos, como índice de eficiencia física del uso del agua, en m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>, determinado por la ecuación:

$$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} = \frac{V}{RF} = \frac{10,000LR}{RF} = 10,000LR (RF)^{-1} \quad (7.8)$$

Donde:

RF está en kg ha<sup>-1</sup>.

Huella hídrica en términos económicos, como índice de productividad económica del agua usada en el riego, en centavos de MX\$ de ganancia bruta m<sup>-3</sup>, determinado por la ecuación:

$$\text{MX\$de ganancia Bruta m}^{-3} = \frac{gb}{V} * 100 \quad (7.9)$$

Donde:

La ganancia bruta “gb” está en MX\$ por ha, “V” en m<sup>3</sup> por ha.

Huella hídrica en términos económicos, como índice de productividad económica del agua usada en el riego, en centavos de MX\$ de ganancia neta m<sup>-3</sup>, determinado por la ecuación:

$$\text{MX\$de ganancia Neta m}^{-3} = \frac{gn}{V} * 100 \quad (7.10)$$

Donde:

La ganancia neta “gn” está en US\$ por ha, “V” en m<sup>3</sup> por ha.

Precio del agua, determinado por el precio estimado por del m<sup>3</sup> de agua usada por el productor en el riego, “Precio m<sup>-3</sup>”, determinado por la ecuación:

$$P \text{ m}^{-3} = \frac{\text{Costo del rubro de riego / ha}}{V} \quad (7.11)$$

Huella hídrica en términos sociales, como índice de productividad social, medida en Empleo hm<sup>-3</sup>, determinada por la ecuación:

$$\text{Empleos hm}^{-3} = 1,000,000 * \left( \frac{J / 288}{V} \right) = \frac{31250}{9} JV^{-1} \quad (7.12)$$

Donde “J” es el número de jornales por ha y 288 es el número de jornadas de trabajo que en un año tiene un trabajador a razón de 6 jornadas por semana durante 48 semanas al año.

Variables de productividad laboral:

La primera forma en cómo se midió la productividad del trabajo fue en su forma de kg de nuez producidos por cada trabajador, “Kg trabajador<sup>-1</sup>”, determinado por la ecuación:

$$kg \text{ trabajador}^{-1} = 288 * \left( \frac{RF}{J} \right) \quad (7.13)$$

Donde:

RF debe estar en kg por hectárea, si se lo expresa en ton por hectárea la ecuación deberá multiplicarse por 1000.

La segunda forma en cómo se midió la productividad del trabajo fue en su forma de kg de nuez producidos por hora de trabajo, “Kg h<sup>-1</sup>”, determinado por la ecuación:

$$kg \text{ trabajador}^{-1} = 125 * \left( \frac{RF}{J} \right) \quad (7.14)$$

Donde: RF debe estar en ton por hectárea, si se lo expresa en kg por hectárea la ecuación deberá dividirse entre 1000.

La tercera forma en cómo se midió la productividad del trabajo fue en su forma de hora invertidas de trabajo por ton de nuez producida, “h ton<sup>-1</sup>”, determinado por la ecuación:

$$h \text{ ton}^{-1} = 8 \frac{J}{RF} \quad (7.15)$$

Donde:

RF debe estar en ton por hectárea.

## 7.2 Resultados

### 7.2.1 Producción, rentabilidad, demanda hídrica y empleo generado en la producción de nogal pecanero en el municipio de San Pedro, Coahuila

El mercado agrícola de la producción de nogal a nivel Distrito de Riego 017, se caracterizó en el año agrícola 2014 por contar con 7, 131 ha cosechadas, en las cuales se produjo un volumen de 9,131 ton, mismas que tuvieron un valor en el mercado igual a \$381.66 millones de pesos. Desagregando esas cifras, se observa que en el municipio de Nazas se cosecharon un total de 1, 207 hectáreas, de las cuales 202 hectáreas son de bombeo (16.73%) y 1,005 hectáreas de gravedad (83.26%). Respecto de la producción municipal se obtuvieron un total de 1, 875.8 toneladas de nuez, de las cuales el 83.70% corresponden a la producción de gravedad y el restante 16.29% corresponden a la producción de bombeo. A nivel municipal el valor de la producción agrícola fue de \$81.26 millones de pesos, de los cuales la producción de gravedad aportó el 83.70% de ese valor y el restante 16.29% del valor lo aportó la producción de bombeo. A nivel municipal el municipio de Nazas contribuyó con el 16.9% de la superficie cosechada, el 20.5% de la producción física anual y el 21.3% del VBP regional. Esa misma fuente indica que el rendimiento promedio en el municipio de Nazas fue de 1.55 ton ha<sup>-1</sup>, observándose mayor rendimiento en el caso del nogal producido bajo riego por gravedad con 1.56 ton ha<sup>-1</sup> *versus* 1.51 ton ha<sup>-1</sup> en el nogal pecanero producido bajo riego por bombeo. Asimismo en la Tabla 1, el rendimiento a nivel distrital para el ciclo agrícola 2014 fue de 1.28 ton ha<sup>-1</sup>, lo que indica que el rendimiento del nogal producido en el municipio de Nazas fue 21.4% superior al determinado en el Distrito de Riego 017.

El precio por tonelada en el municipio de Nazas, fue de \$43,322 ton<sup>-1</sup>, asimismo se determinó que independientemente de la forma de riego el precio por tonelada pagado en el municipio es el mismo, mientras que el pagado a nivel Distrito de Riego, donde el precio por tonelada de producto fue de \$41, 800 ton<sup>-1</sup>, lo que indica que el precio promedio municipal fue 3.6% superior al del Distrito de Riego 017. Asimismo en cuanto al ingreso por hectárea, se observa que a nivel distrital fue de \$53,521 ha<sup>-1</sup>, mientras que en el municipio de Nazas el ingreso por hectárea fue de \$67,326 ha<sup>-1</sup> en promedio, oscilando de \$65, 549 ha<sup>-1</sup> en el nogal de bombeo a \$67, 684 ha<sup>-1</sup> en el nogal producido en gravedad, lo que indica que el ingreso por hectárea obtenido en el municipio de Nazas fue 25.8% superior al obtenido a nivel distrital. Respecto del costo por hectárea se encontró que en promedio a nivel distrital el costo fue \$25, 031 ha<sup>-1</sup>, mientras que en el caso del nogal producido a nivel municipal el costo fue de \$28, 363 ha<sup>-1</sup>, lo que indica que el costo por hectárea en el municipio de Nazas fue 13.3% superior al del nogal promedio distrital.

Desglosando las cifras, se observa que el nogal producido en bombeo tiene un costo de producción de \$32,490 ha<sup>-1</sup>, mientras el producido en gravedad tiene un costo de producción de \$27,534 ha<sup>-1</sup>, por lo que la ganancia por hectárea a nivel distrital fue de \$28,490 ha<sup>-1</sup>, mientras la ganancia a nivel municipal fue de \$38,963 ha<sup>-1</sup>, lo que indica que la ganancia por hectárea a nivel municipal fue 36.8% superior a la determinada a nivel Distrito de Riego.

De acuerdo con la Tabla 7, la Relación Beneficio/Costo a nivel Distrito de Riego fue de 2.14, mientras que la del nivel municipal fue de 1.82, lo que implica que la rentabilidad a nivel municipal fue 14.8% inferior en el municipio de San Pedro, Coahuila, en relación a la rentabilidad determinada a nivel distrital. Asimismo la Relación Beneficio/Costo del nogal pecanero producido vario de acuerdo al tipo de riego, en bombeo fue de 1.70 y de 1.86 en la producción de nuez bajo riego por gravedad.

**Tabla 7** Superficie, producción, valor de la producción, ingresos, costos, rentabilidad, agua usada y empleo en el cultivo de Nogal pecanero irrigado por gravedad y bombeo en el municipio de San Pedro, Coahuila en el DR-017 Comarca Lagunera, ciclo agrícola 2014

| Variable macroeconómica   | San Pedro, Coahuila |                      |                                       |                                     | E) promedio en La Comarca Lagunera (bombeo + gravedad) | F = D / E en % |
|---|---------------------|----------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|----------------|
|   | A) Nogal de bombeo  | B) Nogal de gravedad | C) Suma de ambos tipos de riego (A+B) | D) Promedio de ambos tipos de riego |  |                |
| Superficie cosechada (ha)   | 493                 | 1956                 | 2449                                  |                                     | 7,131  | 34.3%          |
| Producción física anual (ton)   | 640                 | 2348.5               | 2988.5                                |                                     | 9,131  | 32.7%          |
| VBP (Millones de pesos)   | \$27.26             | \$100.03             | \$127.29                              |                                     | \$381.66   | 33.4%          |
| Ton/ha  | 1.30                | 1.20                 |                                       | 1.22                                | 1.28   | 95.3%          |
| Precio (MX\$) ton <sup>-1</sup>   | \$42,592            | \$42,592             |                                       | \$42,592                            | \$41,800   | 101.9%         |
| Ingreso (MX\$) ha <sup>-1</sup>   | \$55,292            | \$51,139             |                                       | \$51,975                            | \$53,521   | 97.1%          |
| Costo (MX\$)ha <sup>-1</sup>  | \$32,490            | \$27,534             |                                       | \$28,532                            | \$25,031   | 114.0%         |
| Ganancia (MX\$) ha <sup>-1</sup>  | \$22,802            | \$23,605             |                                       | \$23,443                            | \$28,490   | 82.3%          |
| Relación Beneficio/Costo  | 1.70                | 1.86                 |                                       | 1.82                                | 2.14   | 85.2%          |
| # de jornales/ha  | 72.27               | 71.27                |                                       | 71.47                               | 71.78  | 99.6%          |
| Kg de nuez por jornada  | 18.0                | 16.8                 |                                       | 17.1                                | 17.84  | 95.7%          |
| Ganancia monetaria/jornada  | \$316               | \$331                |                                       | \$328                               | \$397  | 82.6%          |
| Lámina de riego (m)   | 1.2                 | 1.2                  |                                       | 1.20                                | 1.20   | 100.0%         |
| Eficiencia de conducción  | 0.82                | 0.57                 |                                       | 0.61                                | 0.71   |                |
| Volumen de agua usado por hectárea (m <sup>3</sup> )  | 14,634              | 21,053               |                                       | 19,761                              | 16,969   | 116.4%         |
| Volumen de agua usado en toda la superficie cosechada (en hm <sup>3</sup> =1 millón de m <sup>3</sup> = 1000 millones de L) | 7.21                | 41.18                | 48.39                                 |                                     | 121.01   | 40.0%          |
| Ganancia monetaria total (Millones de MX\$)   | \$11.24             | \$46.17              | \$57.41                               |                                     | 203.16   | 28.3%          |
| Total de jornales al año  | 35,629              | 139,404              | 175,033                               |                                     | 511,833  | 34.2%          |
| Número de empleos permanentes/año (1 empleo permanente = 6 jornadas/semana por 48 semanas al año)                           | 124                 | 484                  | 608                                   |                                     | 1,777  | 34.2%          |
| Inversión de capital (Millones de MX\$)   | \$16.02             | \$53.86              | \$69.87                               |                                     | \$178.50   | 39.1%          |

Fuente: Elaboración propia, con base en cifras de la SAGARPA (2014)

Respecto de la lámina de riego se calcula que en promedio tanto a nivel distrital como municipal es de 1.20m, sin embargo a pesar de tenerse la misma lámina de riego se tiene una diferente eficiencia de conducción, mientras a nivel distrital en promedio se tiene una eficiencia de conducción del 71% a nivel municipal se tiene una de 61%, desglosado en 82% en nogal de bombeo y 57% en nogal de gravedad. Con esos datos se calculó el volumen de agua empleado por hectárea, observándose que a nivel distrital se emplearon un total de 16,969 m<sup>3</sup> por hectárea, por lo que de acuerdo con los cálculos de la superficie se emplearon un total de 121.01 hm<sup>3</sup>, mientras que en el municipio de San Pedro se emplearon un total de 19,761 m<sup>3</sup> por hectárea, por lo que de acuerdo con los cálculos, el superficie de nogal pecanera empleó un total de 48.39 hm<sup>3</sup> (7.21 hm<sup>3</sup> en el nogal de bombeo y 41.18 hm<sup>3</sup> en el nogal de gravedad).

A nivel regional se observa que la ganancia a nivel distrital fue de \$203.16 millones de pesos, de los cuales el municipio de San Pedro aportó \$57.41 millones de pesos (\$11.24 millones en el nogal de bombeo y \$46.18 millones en el nogal de gravedad), lo que indica que la ganancia monetaria a nivel municipal representó el 40% de la ganancia a nivel regional. Asimismo el Tabla, 1, indica que el número de jornales a nivel distrital para la producción de nogal pecanero fue de 511,833 jornales, de los cuales el municipio de San Pedro aportó 175,033 jornales (35,629 jornales en nogal de bombeo, y 139,404 jornales en nogal de gravedad), lo que representa el 34.2% de los jornales a nivel regional. De acuerdo con el número de jornales empleados, se calcula que el número de empleos permanentes 1,777 empleos permanentes, de los cuales el municipio de San Pedro, Coahuila generó 608 empleos permanentes (124 en nogal bajo riego por bombeo y 484 en nogal bajo riego por gravedad), lo que indica que el municipio de San Pedro, Coahuila generó el 34.2% del empleo que se generó a nivel regional por la producción de nogal pecanero.

Asimismo la Tabla 7 indica que la inversión que se tuvo que realizar para lograr obtener una ganancia regional de \$203.16 millones de pesos fue \$178.50 millones de pesos, mientras que en el municipio de San Pedro se tuvieron que invertir \$69.87 millones de pesos (\$16.02 millones de pesos en el nogal de bombeo y \$53.86 millones de pesos en el nogal de gravedad), lo que indica que el municipio de San Pedro, Coahuila invirtió el 39.1% de la inversión regional.

### 7.2.2 Productividad del suelo

El Tabla 7.1 contiene los indicadores de la productividad del suelo, el agua, el capital y de la fuerza laboral. La productividad del suelo fue medida como ton ha<sup>-1</sup>, ingreso bruto (MX\$) ha<sup>-1</sup> y ganancia neta (MX\$ ha<sup>-1</sup>). Los indicadores de eficiencia y productividad del agua fueron quienes evaluaron la huella hídrica, en sus tres formas: física (m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> y kg m<sup>-3</sup>), económica (bajo diversas formas, destacándose \$MX de ganancia neta m<sup>-3</sup>) y social (Empleo generado hm<sup>-3</sup>).

La productividad del capital fue evaluada solo en su forma social, en tanto ya se le discutió en su forma de rentabilidad, así, se le midió como Empleos generados por cada millón de dólares invertidos. La productividad laboral fue medida bajo la forma de kg de nuez producida por trabajador, kg de nuez producida por hora de trabajo y horas de trabajo invertidas por tonelada de nuez producida.

**Tabla 7.1** Indicadores de productividad del suelo, del agua, del capital y de la fuerza laboral en la producción del cultivo de Nogal pecanero en el municipio de San Pedro, Coahuila. Cifras monetarias en pesos mexicanos nominales

| Variable macroeconómicas          | San Pedro, Coahuila.                                  |                      |                                     | D) Nogal promedio en La Comarca Lagunera (bombeo + gravedad) | E = C / D (en base 1) |       |
|-----------------------------------|---|----------------------|-------------------------------------|--|-----------------------|-------|
|                                   | A) Nogal de bombeo                                    | B) Nogal de gravedad | C) Promedio de ambos tipos de riego |  |                       |       |
| Productividad del Suelo:          |   |                      |                                     |  |                       |       |
| Rendimiento físico "RF"           | ton ha <sup>-1</sup>                                  | 1.30                 | 1.20                                | 1.22   | 1.28                  | 0.95  |
| Rendimiento monetario (US\$)      | Ingreso ha <sup>-1</sup>                              | \$55,292             | \$51,139                            | \$51,975   | \$53,521              | 0.97  |
| Rendimiento monetario (US\$)      | Ganancia ha <sup>-1</sup>                             | \$22,802             | \$23,605                            | \$23,443   | \$28,490              | 0.82  |
| Productividad del agua:           |   |                      |                                     |  |                       |       |
| Productividad física              | kg m <sup>3</sup>                                     | 0.089                | 0.057                               | 0.062  | 0.075                 | 0.82  |
| Eficiencia física                 | m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup>                       | 11.27                | 17.53                               | 16.19  | 13.25                 | 1.22  |
| Productividad económica           | MX\$ de ganancia hm <sup>3</sup>                      | \$1,558,136          | \$1,121,215                         | \$1,186,353  | \$1,678,912           | 0.71  |
| Productividad social del agua     | Empleo hm <sup>-3</sup>                               | 17.1                 | 11.8                                | 12.6   | 14.7                  | 0.86  |
| Precio del agua                   | MX\$ m <sup>3</sup>                                   | \$0.24               | \$0.07                              | \$0.09   | \$0.19                | 0.50  |
| Productividad del capital:        |   |                      |                                     |  |                       |       |
| RB/C                              |   | 1.702                | 1.857                               | 1.822  | 2.138                 | 0.85  |
| Productividad social del capital  | Empleo/1 millón de pesos invertidos                   | 7.7                  | 9.0                                 | 8.7  | 10.0                  | 0.87  |
| Punto de equilibrio               | ton ha <sup>-1</sup>                                  | 0.76                 | 0.65                                | 0.67   | 0.60                  | 1.12  |
| Vulnerabilidad crediticia=RF/Peq. | >1 no vulnerable; < 1 vulnerable a no obtener crédito | 1.70                 | 1.86                                | 1.82   | 2.14                  | 0.85  |
| Productividad laboral:            |   |                      |                                     |  |                       |       |
| Trabajo por ha                    | Jornadas/ha   | 72.27                | 71.27                               | 71.47  | 71.78                 | 0.996 |
| Trabajo por ha                    | Horas/ha  | 578.2                | 570.2                               | 571.8  | 574.2                 | 0.996 |
| Horas de trabajo por ton          | h ton <sup>-1</sup>                                   | 445                  | 475                                 | 469  | 448                   | 1.04  |
| Kilogramos por hora               | kg h <sup>-1</sup>                                    | 2.25                 | 2.11                                | 2.13   | 2.23                  | 0.96  |
| Ganancia por jornada              | MX\$ jornada <sup>-1</sup>                            | \$315.5              | \$331.2                             | \$328.0  | \$396.9               | 0.83  |
| Ganancia por hora                 | MX\$ hora <sup>-1</sup>                               | \$39.44              | \$41.40                             | \$41.00  | \$49.62               | 0.83  |

Fuente: Elaboración propia

En relación a la ganancia neta, esto es, al ingreso bruto menos el costo que ya incluye depreciación de maquinaria y equipo así como renta del suelo, se determinó que está osciló de los MX\$22,802 ha<sup>-1</sup> en el nogal de bombeo, hasta los MX\$23, 605 ha<sup>-1</sup> en el nogal bajo riego por gravedad, mientras que la ganancia neta obtenida a nivel distrital fue de MX\$28, 490 ha<sup>-1</sup>, lo que indica que la ganancia neta del municipio de Nazas, Durango fue 18% inferior a la determinada a nivel distrital (ver Tabla 2).

### 7.2.3 Indicadores de la huella hídrica física, económica y social

Los indicadores de productividad y eficiencia mediante los cuales se evaluó a la huella hídrica, muestran en la Tabla 7.1. En esa fuente se observa que la productividad física del municipio de San Pedro en promedio fue de 0.062 kg m<sup>-3</sup> (oscilando de 0.089 kg m<sup>-3</sup> en nogal de bombeo a 0.057 kg m<sup>-3</sup> en nogal de gravedad), mientras que a nivel distrital el indicador fue 0.075 kg m<sup>-3</sup>, lo que indica que la productividad física determinada en el municipio de San Pedro, Coahuila fue 18% inferior en comparación a la productividad promedio del Distrito de Riego 017.

Visto desde otro ángulo, en el municipio de San Pedro, Coahuila se requirieron un total de 16.19  $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$  de nuez (11.27  $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$  en riego por bombeo y 17.53  $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$  en riego por gravedad), mientras que a nivel Distrito de Riego, el indicador fue 13.25  $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$  de nuez, lo que indica que la productividad física medida en su forma  $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$  del municipio de San Pedro fue menor en relación al distrital, toda vez que empleo el 22% más agua de la que se empleó a nivel distrital para obtener la misma cantidad de producto físico.

Estos datos nos indican la gran cantidad de agua que requiere el nogal para transformarla en nuez, lo que nos muestra la importancia que tiene la determinación de este tipo de indicadores. El uso eficiente del agua es uno de los índices más ampliamente empleados en una gran variedad de cultivos en España (García *et al.*, 2013), sin embargo en México existe muy poca información y en algunos cultivos nula información al respecto.

La segunda forma de evaluar a la huella hídrica fue como un indicador de eficiencia en su aspecto económico, como litros de agua irrigada por MX\$ de ganancia bruta producida, de esa forma, el Tabla 2 muestra que a nivel de agregación general, para el municipio de San Pedro, se observó en principio que la relación entre volumen de agua irrigado y la ganancia bruta generada fue positivo, de MX\$1, 186, 353 por hectómetro empleado en el riego (MX\$1, 558, 136  $\text{hm}^{-3}$  en nogal de riego bombeo y MX\$1, 121, 215  $\text{hm}^{-3}$  en nogal de riego por gravedad), mientras a nivel Distrito de Riego se obtuvieron MX\$1, 678, 912  $\text{hm}^{-3}$ , lo que indica que la ganancia bruta generada por hectómetro cúbico empleado en el riego de nogal fue menor en el municipio San Pedro, al generar 29% menos ganancia que la generada a nivel distrital.

Finalmente como otra forma de productividad se determinó la huella hídrica en su forma social, medida bajo la forma de empleos generados por cada  $\text{hm}^3$  de agua usada en el riego, a este respecto el Tabla 2 señala que al emplearse distintas cantidades de jornales por hectárea 72.27 jornales  $\text{ha}^{-1}$  en bombeo, 71.27 en gravedad y 71.44 a nivel distrital, así como por tener diferente superficie en producción la cantidad de empleo por hectómetro cúbico de agua empleada en el riego del nogal fue muy diferente. A nivel del municipio de San Pedro, Coahuila en promedio se generaron 12.6 empleos  $\text{hm}^{-3}$  (17.1 empleos  $\text{hm}^{-3}$  en nogal irrigado por bombeo y 11.8 empleos  $\text{hm}^{-3}$  en nogal irrigado por gravedad), mientras que a nivel Distrito de Riego se generaron 14.7 empleos  $\text{hm}^{-3}$ , lo que indica que en términos sociales el municipio de San Pedro fue menos productivo socialmente al generar 11% menos empleo que el generado a nivel Distrito de Riego 017.

Sin embargo es importante mencionar que este indicador es alto en relación a otros cultivos como los forrajes que emplean menos mano de obra durante sus procesos productivos, mientras que las hortalizas y los frutales obtienen un indicador de este tipo elevado. En este sentido, García, López, Usai y Visani (2013) determinaron un índice que oscilo entre 24 - 62 empleos  $\text{hm}^{-3}$  en la producción de hortalizas y frutales, mientras que la producción de cultivos en invernadero generan hasta 190 empleos  $\text{hm}^{-3}$ , asimismo Ríos *et al.*, (2015) determinaron un promedio para cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera de 0.048 empleos  $\text{hm}^{-3}$ , con el que se muestra la importancia social que tiene la producción de nogal pecanero para el Distrito de Riego 017 y para el municipio de San Pedro, Coahuila en particular.

En el Tabla 7, se observa que los conceptos asociados al riego en tanto en el municipio de Nazas como en el DR017 fueron bajos en términos relativos al representar 17% y 7% del costo de producción, de allí que en el análisis del costo por metro cúbico de agua para riego del cultivo indica que este valor fue bajo MN\$0.09  $\text{m}^3$  en promedio para el municipio de San Pedro, Coahuila (MN\$0.24  $\text{m}^3$  en riego por bombeo, MN\$0.07  $\text{m}^3$  en nogal de gravedad), mientras que a nivel Distrito de Riego, el precio determinado del agua de riego fue MN\$0.19  $\text{m}^3$ .

Inicialmente estos precios nos indican que el precio del agua en el municipio de San Pedro fue representa el 50% del precio pagado a nivel distrital, pero también nos indica que los precios muy bajos comparados con el precio del agua en otras regiones agrícolas del mundo. Según cifras de Gleick (2000), agricultores de Estados Unidos pagan US\$0.05 m<sup>3</sup> empleado en el riego, mientras que el sector público paga US\$0.30 m<sup>3</sup> -US\$0.80 m<sup>3</sup> de agua tratada para uso personal.

De acuerdo con Takele y Kallenbach (2001), los precios del agua son importantes para la mejora de la demanda y de la conservación de este recurso sin embargo a nivel mundial también existen ejemplos de que el recurso no se valora como recurso finito. Murphy (2003), determinó que los agricultores del Distrito de Riego en el Valle Imperial de California pagan solamente US\$15.50 por 1,200 m<sup>3</sup> (es decir; US\$ 0.012 m<sup>3</sup>), mientras que Ríos *et al.*, (2015), determinaron un precio promedio de US\$0.02 m<sup>3</sup> para cultivos forrajeros producidos en el Distrito de Riego 017, mientras que en el Valle de Mexicali, se determinó un precio promedio del agua de riego igual a \$0.19 m<sup>-3</sup> (Ríos *et al.*, 2016).

#### 7.2.4 Productividad del capital

La productividad del capital puede ser visualizada desde diferentes ángulos, en este trabajo se la evaluó solamente como rentabilidad y productividad social. La rentabilidad, de acuerdo con el Tabla 2 se midió como la RB/C, ya analizada en el apartado 5.2, queda ahora por analizarle desde el punto de vista de la productividad social del capital, vista primeramente como un índice de productividad social del capital, específicamente bajo la forma de la cantidad de empleos generados por cada millón de MX\$ invertidos en la producción así como y enseguida como un índice de eficiencia social del capital, bajo la forma de la cantidad de MX\$ invertidos por empleo.

La Tabla 7.1 muestra que el invertir un millón de MX\$ en la producción de nogal pecanero, generó diferente cantidad de empleos en cada uno de los dos tipos de riego, mientras a nivel municipal se generaron 8.7 empleos por cada millón de pesos invertido en la producción de nogal, desglosando esas cifras se observa que en el riego por bombeo se generaron 7.7 empleos, y en el riego por gravedad se generaron 9.0 empleos por cada millón de pesos invertido en la producción de nogal, mientras que a nivel Distrito de Riego 017 se generaron 10 empleos por cada millón de pesos que se invirtieron en esa rama productiva. En términos relativos el municipio de San Pedro generó solamente el 87% del empleo que se generó a nivel distrital empleando la misma cantidad de inversión.

Por otro lado, bajo las mismas condiciones de cultivo, así como de mercado la cantidad mínima que se requiere producir de nuez en promedio para tener una operación viable (punto de equilibrio) fue de 0.67 ton ha<sup>-1</sup> en promedio para el municipio de San Pedro, (0.76 ton ha<sup>-1</sup> en nogal irrigado por bombeo y 0.65 ton ha<sup>-1</sup> en nogal irrigado por gravedad) mientras en huertos en promedio del Distrito de Riego 017 se obtuvo un punto de equilibrio de 0.60 ton ha<sup>-1</sup>, por lo que tomando en cuenta los rendimientos obtenidos, se observa que tanto a nivel municipal como regional, cubren el punto de equilibrio, lo que indica que los huertos son rentables tanto a nivel municipal como a nivel regional. Finalmente se analizó la vulnerabilidad crediticia que tiene cada uno de los huertos analizados de acuerdo con sus niveles tecnológicos, entendida como la capacidad que tendría un productor para solventar en determinando momento el pago de un crédito para la producción primaria. Se encontró que los huertos bajo riego por bombeo tuvieron un indicador igual a 1.70, lo cual garantiza la devolución de todo crédito, mientras que los huertos bajo riego por gravedad tuvieron un indicador de 1.86, el indicador a nivel municipal fue 1.82, mientras que los huertos a nivel distrital tuvieron un índice igual a 2.14, ahora bien, aunque los dos niveles tecnológicos (riego por bombeo y riego por gravedad) garantizarían la devolución de determinado crédito, el rendimiento generado por la implementación de ese crédito serían diferentes, de allí que la R/B/C en cada uno de los casos estuviera marcada por estas diferencias (Tabla, 7.1).

### 7.2.5 Productividad del trabajo

De acuerdo con Dorward (2013), existen otras dos formas de expresar la productividad laboral, para indicadores estructurales, pudiendo ser medida por el valor bruto de la producción generado en relación con el número de personas empleadas y/o por el número de horas trabajadas. La parte inferior del Tabla 7.1 contiene los números índice que evalúan la productividad de la fuerza laboral. Los resultados indican que a nivel municipal se invirtieron un total de 571.8 horas por tonelada de nuez ( $578.2 \text{ h ton}^{-1}$  en el nogal irrigado por bombeo y  $570.2 \text{ h ton}^{-1}$  en el nogal irrigado por gravedad), mientras que a nivel distrital se emplearon un total de  $574 \text{ h ton}^{-1}$  de nuez, lo que indica que la producción de nuez del municipio de San Pedro es menos productiva, toda vez que empleo más cantidad de horas de trabajo para producir una tonelada de producto. Visto de otra forma a nivel municipal, en el municipio de San Pedro se generaron  $2.13 \text{ kg h}^{-1}$ , desglosados en  $2.25 \text{ kg h}^{-1}$  en el nogal irrigado por bombeo y  $2.11 \text{ kg h}^{-1}$  en el nogal irrigado por gravedad, mientras que a nivel Distrito de Riego se generaron  $2.23 \text{ kg h}^{-1}$ , lo que reafirma lo asentado en el párrafo anterior, en sentido de que los huertos de nogal del municipio de San Pedro, Coahuila fue menos productivos al generar 4% (el indicador fue 0.96) menos producto en relación generado a nivel distrital.

Se determinó que en promedio los trabajadores adscritos a la producción de nogal en el municipio de San Pedro, Coahuila, generaron una ganancia de MX\$328 por jornada de trabajada, desglosada en MX\$315 jornada<sup>-1</sup> en nogal irrigado por bombeo y MX\$331.2 jornada<sup>-1</sup> en nogal irrigado por gravedad, mientras que a nivel distrital la ganancia obtenida fue de MX\$396.9 jornada<sup>-1</sup>, lo que indica que la producción de nogal en el municipio de San Pedro, Coahuila en términos de productividad laboral fue menor a la obtenida a nivel regional, ya que la jornada de trabajo invertida en el municipio de San Pedro generó 17% menos ganancia en comparación a la generada a nivel distrital.

Visto de otra forma, mientras a nivel municipal se generaron MX\$41 por hora de trabajo ( $\text{MX\$}39.44 \text{ h}^{-1}$  en nogal irrigado por bombeo y  $\text{MX\$}41.40 \text{ h}^{-1}$  en nogal irrigado por gravedad), mientras a nivel del Distrito de Riego 017 se produjo una ganancia de  $\text{MX\$}49.62 \text{ h}^{-1}$ , lo que indica que el municipio de San Pedro, Coahuila fue menos productivo en relación al Distrito de Riego 017, al generar 17% menos de ganancia por hora de trabajo invertida en relación a la obtenida a nivel Distrito de Riego.

### 7.3 Conclusiones

Se concluye que la eficiencia y productividad del cultivo de nogal pecanero producido a nivel Distrito de Riego 017 fue superior a la determinada en el municipio de San Pedro, Coahuila.

### 7.4 Referencias

Cai, X., & Rosegrant, M. W. (2003). World Water Productivity: Current Situation and Future Options. In Kijne, J.W., Barker, R., & Molden, D. (Eds.), *Water productivity in agriculture: Limits and Opportunities for Improvement* (pp 179-198) International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, CABI Publication, Wallingford, UK.

Dorward, A. (2013). Agricultural labour productivity, food prices and sustainable development impacts and indicators. *Food Policy*, 39 (1), 40-50

FAO. (2002). Value of virtual water in food: Principles and virtues. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/nr/water/docs/VirtualWater.pdf> (Consulta 04 febrero del 2016).

- García, J. G., López, F. C., Usai, D., and Visani, C. (2013). Economic Assessment and Socio-Economic Evaluation of Water Use Efficiency in Artichoke Cultivation. *Open Journal of Accounting* 2 (2), 45-52.
- Gleick. (2000). *The World's Water, 2000-2001: The Biennial Report on Freshwater Resources*. Washington, DC. Islan Press, 2000. 335p.
- Hoekstra A.Y., y Chapagain A.K. (2004). *Water Footprints of Nations*. UNESCO-IHE. Institute for Water Education. Value of Water. Research Report Series. Serie 16. Volume 1. Appendices. Netherlands.
- Hoekstra, A. Y; P. Q. Hung. (2005). Globalization of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change* 15, 45–56.
- Kijne, J. W. Barker, R. and Molden, D. (eds.) (2003). *Water productivity in agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, CABI Publication, Wallingford UK. 332p.
- Murphy D.E. (2003). In a first, U.S. puts limits on California's thirst. *New York Times*, 5 January. 1- 16 p.
- Pasquale S; T. C. Hsiao; y E. Fereres. (2007). On the conservative behavior of biomass water productivity. *Water productivity: Science and Practice. Irrig Sci*, 25, 189–207.
- Ríos, F. J. L., Torres, M. M., Castro, F. R., Torres, M. M. A., Ruiz, T. J. 2015. Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México. *Revista Facultad Ciencias Agronómicas UNCUYO* 47(1), 93-107.
- Ríos, F. J. L., Torres, M. M., Ruiz, T. J. y Torres, M. M. A. (2016). Eficiencia y productividad del agua de riego en trigo (*Triticum vulgare*) de Ensenada y Valle de Mexicali, Baja California, México. *Acta Universitaria*, 26(1), 20-29.
- Takele, E. and Kallenbach, R. (2001). Analysis of the Impact of Alfalfa Forage Production under Summer Water-Limiting Circumstances on Productivity, Agricultural and Growers Returns and Plant Stand. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 187 (1), 41-46.
- Wichelns, D. (2001). The role of 'virtual water' in efforts to achieve food security and other national goals, with an example from Egypt. *Agricultural Water Management*, 49,131–151.

## **Evaluación del modelo RothC-26.3 a nivel de parcela en México**

GONZÁLEZ-MOLINA, Lucila, CARRILLO-ANZURES, Fernando, ACOSTA-MIRELES, Miguel y BÁEZ-PÉREZ, Aurelio

L. González, F. Carrillo, M. Acosta y A. Báez

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Carretera Los Reyes-Textcoco, Km 13.5 56250 Coatlinchán, Estado de México, México

INIFAP, C.E. Bajío. Km. 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende s/n, Col. Roque. 38110 Celaya, Guanajuato, México  
gonzalez.lucila@inifap.gob.mx

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Textcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

This study evaluated the RothC model in simulating SOC stocks changes at the plot level in sites and systems of Mexico. The experimental plots were located in the states of México, Tlaxcala, Michoacán, Guanajuato, Oaxaca, Jalisco and Nuevo León. RothC was run with SOC<sub>initial</sub> measured at each sampling point and with average SOC<sub>initial</sub> measured in each plot. The entry information of the model, as well as the plant residues and organic fertilizers were measured and estimated. The degree of correlation between measured and simulated SOC was of 0.24 to 0.95 and 0.76 to 1.0, by system and site, respectively. Model efficiency was of de 0.16 to 0.84 and -0.6 to 0.93, by system and site, respectively.

## 8 Introducción

Aunque la modelación es una herramienta útil en la ciencia del suelo, los modelos deben ser evaluados estadísticamente y ser documentados (O'leary et al. 2016). El RothC es un modelo utilizado para modelar los cambios de COS, cuenta con un registro de más de 1300 usuarios en 80 países (Francaviglia et al., 2012), es simple en su estructura y requiere pocos parámetros y datos de entrada (Coleman & Jenkinson et al., 1996). El desempeño de este modelo ha sido probado en experimentos de larga duración en diferentes ecosistemas (Smith et al., 1997; Ludwig et al., 2007) se ha usado en sistemas agrícolas, bosques y pastizales (Cerri et al., 2007). La mayoría de los estudios en los que se usan modelos para reportar el cambio de COS se han realizado en experimentos de larga duración (Smith et al., 1997). En el presente estudio desarrollado en México se usaron bases de datos de COS compiladas en experimentos de corta duración. El trabajo que reportó mayor duración (25 años) fue el de Villa Diego, Guanajuato. Se evaluó el desempeño del RothC en la simulación de los cambios del COS a nivel de parcela, en cuatro sistemas: agrícola, forestal, praderas y agostaderos, se seleccionaron nueve sitios ubicados en: Estado de México, Tlaxcala, Michoacán, Guanajuato, Oaxaca, Jalisco y Nuevo León. El modelo RothC se ejecutó en parcelas en dos formas: (i) con el COS<sub>inicial</sub> medido en cada punto de muestreo (\*CIPUN) en sitios de Oaxaca y (ii) con el COS<sub>inicial</sub> promedio medido por parcela (\*CIPAR).

### 8.1 Materiales y Métodos

#### 8.1.1 Características de los sitios y sistemas de estudio

- Linares, Nuevo León, cuya información del COS proviene de 10 parcelas con sistemas agrícolas con cultivos de maíz y sorgo; 3 parcelas con praderas con zacate buffel (*Pennisetum ciliare* L.) y 17 parcelas de agostadero que son sistemas de conversión de vegetación primaria o secundaria a sistemas de introducción de ganado; y matorral espinoso tamaulipeco que representó un sitio conservado. Algunas especies que dominan este sitio son arbustos espinosos (*Acacia farnestana* (L.) Willd y *Acacia greggii* Gray) y arboles (*Prosopis laegeviata* (Humb y Bonpl. Ex Willd)) (Reid et al., 1990). El periodo de estudio fue de 1993-1999 (Pando et al., 2004).
- El Batán, Estado de México, estación experimental del Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT) cuya información de COS corresponde a sistemas de manejo agrícola de 16 parcelas. Se consideró: (i) tipo de labranza, cero (LZ) o tradicional (LC); (ii) manejo de residuos, con (+R) o sin residuos (-R); (iii) monocultivo maíz (m) o trigo (t); y (iv) rotación trigo-maíz y maíz-trigo, lo que hizo un total de 16 tratamientos. Se evaluó el periodo 1996-2006 (Fuentes et al., 2009).

- En la Sierra Norte de Oaxaca entre regiones: Mazateca (2 sitios), Cuicateca (2 sitios) y Mixe (1 sitio). La información de COS se obtuvo de sistemas agrícolas, café (CA) (*Coffea arabica* L.) en las regiones Mazateca y Mixe. En la región Cuicateca se consideraron sitios con maíz (*Zea mays* L.) con labranza tradicional (LT) o de conservación (LC) y con maíz intercalado con hileras de durazno (*Prunus persica* L.) o café, que forman barreras (BMV) o terrazas de muro vivo (MIAF). En el MIAF al pie de la hilera de los árboles frutales se colocaron ramas y los restos de las podas de los árboles, los cuales actúan como filtro de los escurrimientos, En el resto de la parcela (donde no hay árboles) se maneja con LT o LC. También se obtuvo información del COS de sistemas forestales. En la región Mazateca se consideró sitios de vegetación secundaria como el bosque de liquidámbar (BL) (*Liquidambar* sp) y el bosque de aile (BA) (*Alnus* sp). En la región Mixe se seleccionaron acahuals de 6 años de edad (ACA6). Adicionalmente se consideraron las praderas en las regiones Cuicateca y Mazateca (Cortés et al., 2005). Algunas especies importantes en estos acahuals son: *Clethra hartwegii* Britt. (*Clethra*), *Rapanea myricoides* (Schl.) Lundell. (*Rapanea*), *Alnus glabrata* Fernald. (*Alnus*), *Liquidambar macrophylla* Oerst. (*Liquidambar*) (Acosta 2003). Los sitios de las tres regiones de Oaxaca se evaluaron de 2000-2004 (†Acosta, 2003; González-Molina et al., 2008).
- Atécuaro, Michoacán donde se consideró, un Andosol y un Acrisol. En el primer caso se integraron: 10 sitios forestales (B1-B10) constituidos principalmente por dos especies de pino y siete de encino, un sitio de pastoreo (P1) y otro agrícola (C1). En el segundo se incluyeron varios sistemas: (i) un tradicional sin descanso (Tt) con un cultivo anual usando un bajo nivel de fertilizantes químicos; (ii) un tradicional mejorado (TM) con cultivos asociados y aporte de RV y otro con uso moderado de agroquímicos; (iii) uno sitio con manejo orgánico (To), con cultivos asociados y abonos orgánicos; y (iv) un sistema de año y vez (Tav) que consiste en un barbecho anual con pastoreo de bovinos, seguido de un año de cultivo (†Covalada, 2008). (5) Santiago Tlalpan, Tlaxcala, donde la información del COS provino de: (i) sistemas agrícolas tradicionales (Tt) con un cultivo anual y con dosis bajas de fertilizantes químicos; (ii) sistemas tradicionales mejorados (TM), con cultivos asociados, aporte de RV y mayor aporte de agroquímicos; (iii) un sistema orgánico (To), con empleo de cultivos asociados y abonos orgánicos; (iv) tepetate roturado con manejo tradicional (Rt); y (v) tepetate roturado con manejo orgánico (Ro) (†Covalada, 2008).
- Zaachila, Oaxaca, donde se consideraron los siguientes sistemas: (i) tradicional con maíz intercalado con calabaza (TMC), cuya distancia entre plantas fue de 0.75 m y 1.5 m, respectivamente; (ii) multistrato (MUL) con higuera, calabaza y maíz; donde el arreglo de las hileras fue el siguiente: (a) maíz, (b) calabaza, (c) maíz e (d) higuera y así sucesivamente, la distancia entre plantas de higuera fue de 1.5 m, de maíz 0.75 y de calabaza 1.5; (iii) monocultivo de higuera con 24 meses de establecido (HIG). Para evaluar los cambios del COS, los tratamientos se compararon con una parcela con más de 30 años de uso tradicional (González-Molina et al., 2012).
- Localidades de la Cuenca Cuitzeo con suelos vertisoles: Indaparapeo, Álvaro Obregón, Queréndaro I y Queréndaro II Michoacán (†Báez-Pérez et al., 2011). (8) Localidad de Villa Diego y la estación Experimental del Bajío en Celaya, en Guanajuato, con labranza de conservación (†Báez-Pérez et al., 2011).
- En las localidades de Michoacán y Guanajuato, los cultivos fueron: maíz, sorgo, trigo y leguminosas (haba) y se establecieron bajo labranza de conservación y en rotaciones gramínea - gramínea y gramínea-leguminosas. En estas localidades el periodo de evaluación fue de cuatro años, excepto en Villa Diego donde el periodo fue de 25 años (†Báez-Pérez et al., 2011).

- La Huerta, Jalisco con plantaciones de especies forestales tropicales con manejo y sin manejo de hierbas y arbustos: rosa morada (*Tabebuia rosea* (Bertol) DC), Teca (*Tectona grandis* L.), melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y parota (*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.). Se evaluaron plantaciones de quince años de establecido (Buendía, 2011). En las tablas 8 y 8.1 se anotan las características principales de los sitios y sistemas de estudio.

**Tabla 8** Características generales de los sitios y sistemas de estudio

| Sitios              | Sistemas  | Latitud          | Longitud           | Altitud (m) | TMA (°C) | PMA (mm) |
|---------------------|---|------------------|--------------------|-------------|----------|----------|
| Batán, Méx.         | Agrícola  | 19°31'N          | 98°50'O            | 2259        | 15       | 634      |
| Linares N. L.       | Matorral espinoso tamaulipeco, agostadero, praderas, y agrícola | 24°47'N          | 99°32'O            | 350         | 19       | 763      |
| Cuicateca, Oax.     | Agrícola, forestal, praderas                                    | 17°51'N          | 96°51'O            | 1700 y 2200 | 14       | 1038     |
| Mazateca, Oax.      | Agrícola, forestal, praderas                                    | 18°09'N          | 96°54'O            | 1380 y 1910 | 14       | 1440     |
| Mixe, Oax.          | Agrícola y forestal   | 17°01'N          | 96°53'O            | 1500 y 2000 | 16       | 2583     |
| Atécuaro, Mich.     | Agrícola y forestal   | 19°30'N          | 101°09'O           | 2048        | 16       | 824      |
| Tlaxcala            | Agrícola  | 19°28'N          | 98°19'O            | 2540        | 14       | 769      |
| Zaachila, Oax.      | Agrícola y forestal   | 16°54'N          | 96°46'O            | 1940        | 20       | 744      |
| La Huerta, Jal.     | Forestal  | 19°31'N          | 134°32'O           | 298         | 23       | 1285     |
| Localidades, Mich.* | Agrícola  | 19°59'N          | 101°00'W           | 1840        | 19       | 637      |
| Localidades, Gto.*  | Agrícola  | 20°31' y 20°23'N | 100°48' y 101°11'W | 1749        | 19       | 631      |

\*Localidades con suelos vertisoles. TMA=Temperatura media anual; PMA=Precipitación media anual

**Tabla 8.1** Características edáficas de las parcelas en los sitios y sistemas de estudio

| Sitios                    | Suelo‡             | Profundidad muestreo (cm) | Arcilla ( % ) |
|---------------------------|--------------------|---------------------------|---------------|
| Batán, Méx.               | Phaeozem           | 20                        | 38            |
| Linares N. L.             | Vertisol y Regosol | 30                        | 43            |
| Cuicateca, Oax.           | Ferrasol           | 30                        | 30            |
| Mazateca, Oax.            | Ferrasol           | 30                        | 35            |
| Mixe, Oax.                | Ferrasol           | 30                        | 37            |
| Atécuaro, Mich.           | Andosol            | 10                        | 27            |
| Atécuaro, Mich.           | Acrisol            | 10                        | 67            |
| Tlaxcala                  | Tepetate           | 20                        | 33            |
| Zaachila, Oaxaca          | Regosol eútrico    | 40                        | 13            |
| La Huerta, Jalisco        | Feozem háplico     | 30                        | 32            |
| Localidades, Mich. y Gto. | Vertisol           | 30                        | 46 y 61       |

‡ (FAO-ISRIC-SICS 1998)

### 8.1.2 Modelo RothC

El modelo RothC-26.3, tiene su origen en las primeras versiones del RothC desarrolladas por Jenkinson & Rayner (1977). Éste divide al COS en cuatro compartimentos activos y uno pasivo según su velocidad de descomposición: (1) material vegetal de fácil descomposición (MVD); (2) material vegetal resistente (MVR); (3) biomasa microbiana (BIO); (4) materia orgánica humificada (HUM); y (5) materia orgánica inerte (MOI). El COS de los compartimentos MVD y MVR se descompone para formar otros, BIO, HUM además de CO<sub>2</sub> una parte del cual se acumula en la MOI. El contenido de arcilla determina la proporción de COS que pasa a CO<sub>2</sub> o a BIO+HUM (Coleman & Jenkinson, 1996). Los parámetros de entrada incluyen temperatura del aire (°C) (TPM), precipitación (mm) (PPM) y evaporación (mm) promedio mensuales (EPM), contenido de arcilla, profundidad del muestreo del suelo, entrada mensual de C de residuos vegetales (RV) y abonos orgánicos (AO). Además información mensual de la cobertura del suelo, si el suelo está desnudo o con cobertura vegetal, y la relación MVD/MVR. La relación MVD/MVR la que recomienda el modelo RothC por defecto, su valor es de 0.25 para la vegetación forestal, se considera 1.44 para los cultivos y pastos con manejo y es de 0.67 para los pastos no explotados y matorrales (incluyendo sabana) (Coleman & Jenkinson 1996)

### 8.1.3 Simulación de los cambios de COS con el modelo RothC

La simulación con el modelo RothC se desarrolló en dos etapas: inicialización y simulación. En la etapa inicialización se supuso, de acuerdo a la propuesta de Jenkinson et al. (1999) que en los sistemas el contenido de COS medido alcanzó la condición de equilibrio. El modelo RothC se ejecutó de manera inversa para obtener la cantidad de C que entraba anualmente al suelo para mantener el contenido específico de COS<sub>inicial</sub> medido en el experimento. La condición de equilibrio se logró al ejecutar el RothC para un periodo de 10 000 años continuos, durante este proceso el RothC determinó la distribución de C en los compartimentos activos. En la etapa de simulación, el modelo se ejecutó con los contenidos C de cada compartimento, la información de clima, suelo, relación MVD/MVR y la información mensual del escenario de manejo que incluye: la entrada de C al suelo proveniente de RV y abono orgánico, así como la cobertura del suelo. Al inicio de las simulaciones de cada experimento se hicieron pruebas considerando el C de RV y de abono orgánico en la entrada del modelo debido a que ambos son parámetros importantes en la calibración del modelo (Guo et al. 2007).

### 8.1.4 Condiciones de simulación

En las parcelas se simuló el cambio de COS con el modelo RothC en dos formas: (i) con el COS<sub>inicial</sub> medido en cada punto de muestreo (\*CIPUN) y (ii) con el COS<sub>inicial</sub> promedio medido por parcela (\*CIPAR). El primer caso se usó la información de las parcelas de la Sierra Norte de Oaxaca y en el segundo la información obtenida para el resto de las parcelas.

## 2.5 Datos de entrada

Los datos climáticos obtenidos en los sitios fueron: TPM, PPM y EPM correspondientes al periodo 1951-2012 y se obtuvieron de la base de datos Extractor Rápido de Información Climatológica (IMTA, 2000), de la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2014) y de las estaciones climáticas de campos experimentales. Los datos del suelo se obtuvieron directamente de los sistemas. La MOI se obtuvo mediante la Ecuación 1, la relación MVD/MVR fue la recomendada por el modelo RothC por defecto. En la etapa de predicción, el modelo se ejecutó considerando los contenidos C de cada compartimento, la información edafo-climática, la relación MVD/MVR y la información mensual del escenario de manejo que incluye: la entrada de C (Mg ha<sup>-1</sup>) de RV y de abono orgánico, así como la cobertura del suelo.

La distribución de los RV fue uniforme en los meses donde el suelo presentó cobertura. Ejemplo de la parametrización de RV para hacer las simulaciones en los sistemas de las localidades del Centro de Salud y Santa Catarina de la región mazateca de la Sierra norte de Oaxaca (Tabla 8.2).

**Tabla 8.2** Entrada de carbono al suelo de residuos vegetales abono orgánico y cobertura del suelo en los sistemas de Oaxaca de las localidades Centro de Salud y Santa Catarina

| ‡Localidad      | Sistema <sup>u</sup> | ‡PRV /año | Abono  | Cobertura |
|-----------------|----------------------|-----------|--------|-----------|
|                 |                      | C t/ha    | C t/ha | Suelo     |
|                 |                      |           |        | Meses     |
| Centro de Salud | LT                   | 7.1       |        | 9         |
|                 | LC                   | 6.1       | 0.32   | 12        |
|                 | MIAF*m               | 6.4       | 0.21   | 12        |
|                 | MIAF*p               | 3.4       |        | 9         |
| Santa Catarina  | LT                   | 7.2       |        | 9         |
|                 | LC                   | 8.2       | 0.32   | 12        |
|                 | MIAF*m               | 5.5       |        | 12        |
|                 | MIAF*p               | 5         | 0.21   | 9         |
|                 | BL                   | 6         |        | 12        |
|                 | Ail                  | 5         |        | 12        |
|                 | CA                   | 6         |        | 12        |
|                 | PR                   | 3.06      | 1.02   | 12        |
| PR              | 2.8                  | 0.8       | 12     |           |

<sup>u</sup>LT=Labranza tradicional; LC=Labranza de conservación; MIAF=Milpa intercalada con árboles (\*m=muro, \*p=parcela); BV=Barrera viva; BL=Bosque de liquidambar (40 años); Bosque de aile=BA (10 años); PR=Pradera; ACA=Acahual (6 años); CA=Café; ‡PRV=Entrada promedio de residuos vegetales/año

### 8.1.6 Criterios de evaluación del RothC

Para su análisis, los pares de datos de COS observado y predicho de las parcelas se agruparon por sistemas en ambas formas de simulación \*CIPUN y \*CIPAR. Para el análisis de los sitios se usaron las simulaciones \*CIPAR. Los sistemas se agruparon en: (1) agrícolas adicionados con residuos (A+R), (2) agrícolas sin adición de residuos (A-R), (2) forestales (F), (3) praderas (PR), y (3) agostaderos (AG). En la evaluación del modelo RothC, se utilizaron los siguientes criterios: la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RCME) (%), el error relativo (ER) y la eficiencia del modelo (EF) expresada por (Smith et al., 1997) además el coeficiente de correlación (r) y el parámetro b de la ecuación de regresión lineal simple con la ordenada al origen. El valor de RCME va de 0 a  $\infty$ , ER de  $-\infty$  a  $\infty$ , r de 0 a 1 y EF de  $-\infty$  a 1. En una prueba ideal RCME y ER son iguales a 0 y r, b y la EF son iguales a 1.

## 8.2 Resultados

### 8.2.1 Evaluación del RothC en los sitios de estudio

Los valores de r estuvieron en el rango de 0.7 a 1.0 e indicaron alta asociación de COS medido y simulado en los sitios de clima templado (Batan, Sierra Norte de Oaxaca, Santiago T. y Atécuaro) y clima cálido (Linares, Zaachila, La Huerta y las Localidades de Michoacán y Guanajuato). La RCME tuvo valores en el rango de 10 al 37%, los de mayor magnitud correspondieron a los sitios en la Sierra Norte de Oaxaca y en Linares Nuevo León.

El ER indicó un sesgo negativo entre valores medidos y simulados en las parcelas de Santiago Tlalpan y el Batán; en tanto que el sesgo fue positivo (5-28%) en las parcelas de las localidades de Michoacán, Guanajuato y la Sierra Norte de Oaxaca. Con base al parámetro “b”, se considera que el modelo subestimó los valores medidos entre 8 y 31%, en todos los sitios, excepto en Santiago Tlalpan. Si se considera el criterio de Ludwig et al. (2010), la eficiencia del modelo RothC en la simulación de los cambios de COS fue insatisfactoria ( $EF \leq 0$ ) en las parcelas del Batán; pero satisfactoria ( $0 < EF < 0.7$ ) en la Sierra Norte de Oaxaca y La Huerta, Jalisco; y buena ( $EF \geq 0.7$ ) en Linares Nuevo León, Atécuaro, Michoacán, Zachila, Oaxaca, Santiago Tlalpan, Tlaxcala, y en las localidades en Guanajuato y Michoacán con suelo vertisol (Tabla 8.2).

Los valores de RCME están dentro de los valores reportados por Cerri et al. (2007) (RMSE=6 a 73%) en condiciones tropicales del Amazonas en Brasil (22 a 27°C) donde se evaluaron 11 cronosecuencias de cambio de uso de bosque a pastizal. Shirato et al. (2005) reportaron valores de RCME entre 20 y 60% en suelos de clima tropical de Tailandia (27 y 28°C) en parcelas cultivadas con maíz y cassava. Para condiciones templadas en Australia (19°C), Senapi et al. (2014) obtuvieron valores de RCME entre 6 y 15% en suelos con algodón bajo diferentes sistemas de labranza. Los valores altos obtenidos en la Sierra Norte de Oaxaca (37%) y Linares Nuevo León (32%) pueden estar asociados a errores de precisión de los datos analíticos, que considera errores de medición en laboratorio y de muestreo. Adicionalmente se debe considerar la variabilidad intrínseca del COS (Guo et al., 2007). En el caso de Oaxaca, el C asociado a la fracción mineral fue sobrestimado en un 17 %, (González-Molina et al., 2008) debido a la presencia de residuos orgánicos (raíces) que fueron removidos después de una segunda limpieza. En Linares, donde se evaluaron parcelas con agostaderos, los errores en los resultados se asociaron a la complejidad de este sistema donde son frecuentes los disturbios por sobre-pastoreo, erosión, invasión de plantas arbustivas, plantas tóxicas roedores y fuego; además de la heterogeneidad de la vegetación, y amplia variabilidad de clima y suelo (Melgoza, 2006). En general la EF del modelo fue calificada como satisfactoria y buena con excepción del Batán donde se evaluaron diversos sistemas de labranza. Senapi et al., 2014 reportaron mejor desempeño del modelo bajo labranza mínima en relación a labranza convencional intensiva en condiciones semiáridas subtropicales de Australia. En contraste Li et al. (2009) quienes evaluaron sistemas donde se mantuvieron residuos sobre el suelo, encontraron un mejor desempeño del modelo en sistemas con labranza cero y en tratamientos donde los RV fueron quemados. En ambos casos las simulaciones sobrestimaron en la modelación del C en los sistemas de labranza, por lo que se deben considerar factores de pérdida de COS (Senapi et al., 2014) y de RV de la superficie, estos últimos se pueden perder antes de entrar al suelo para formar parte del COS (Liu et al., 2009).

**Tabla 8.3** Estadísticos que describen el desempeño del RothC en experimentos de corta duración en sitios experimentales de México

| Sitios/Estadísticos         | n  | r    | RCME | EF    | ER    | B    |
|-----------------------------|----|------|------|-------|-------|------|
| El Batán, Méx.              | 48 | 0.76 | 0.19 | -0.60 | 0.05  | 0.97 |
| Linares, N. L.              | 61 | 0.88 | 0.32 | 0.76  | -0.03 | 0.77 |
| S. Tlalpan Tlax.            | 15 | 0.98 | 0.10 | 0.93  | -0.10 | 1.05 |
| Atécuaro, Mich.             | 24 | 0.95 | 0.11 | 0.89  | 0.09  | 0.92 |
| Sierra Norte, Oax.          | 27 | 0.90 | 0.37 | 0.53  | 0.28  | 0.69 |
| Zachila, Oax.               | 6  | 1.00 | 0.11 | 0.89  | 0.05  | 0.92 |
| La Huerta, Jal.             | 5  | 0.77 | 0.10 | 0.56  | 0.10  | 0.98 |
| Localidades de Mich. y Gto. | 16 | 0.87 | 0.09 | 0.84  | 0.05  | 0.96 |

n= número de pares de datos de COS simulados y observados, r=coeficiente de correlación, RCME=raíz del cuadrado medio del error, EF=eficiencia del modelo, b=parámetro de la ecuación de regresión lineal simple

### 8.2.2 Evaluación del RothC en sistemas

En las simulaciones puntuales (\*CIPUN) (Tabla 8.3) y por parcela (\*CIPAR) (Tabla 8.4) que agrupada sistemas agrícolas con (A+R) y sin (A-R) residuos vegetales sistemas forestales (F), praderas (PR) y agostaderos (AGOS) hubo asociación de COS medido y simulado con un  $r$  en el rango de 0.63 a 0.97, con excepción del sistema de AGO ( $r=0.24$ ). La RCME presentó valores en el rango 18 a 47%, los de mayor magnitud correspondieron a los sistemas F (\*CIPUN). El ER indicó un sesgo negativo entre valores medidos y simulados en los sistemas A+R y AGOS de \*CIPAR. En general para las \*CIPUN se obtuvieron valores mayores debido a que no hubo efecto del valor promedio como fue el caso de las \*CIPAR. Al considerar el criterio de Ludwig et al. (2010) en la evaluación de la EF, la modelación fue insatisfactoria ( $EF \leq 0$ ) en los sistemas F y PR (\*CIPUN) y en los AGO \*CIPAR; satisfactoria ( $0 < EF < 0.7$ ) en A+G y A-G \*CIPUN; y buena ( $EF \geq 0.7$ ) en los sistemas F, A+G y A-G \*CIPAR. De acuerdo con el parámetro “b” de la ecuación de regresión lineal, ambas simulaciones del modelo RothC indicaron una subestimación de las mediciones de COS de 14 a 31%.

De acuerdo con el análisis del desempeño del modelo, la EF insatisfactoria de los sistemas F y PR \*CIPUN puede explicarse por la alta variabilidad del (CV) (25- 68%) reportada por González-Molina et al. (2010) y Vergara et al. (2014) para las mismas parcelas. En el caso de los AGOS, como se ha mencionado antes, en México estos sistemas son complejos debido a que se puede presentar una mayor variabilidad espacial de COS producto de la entrada residuos, abono orgánico y pastoreo, los que varía dependiendo del periodo de lluvias (Melgoza, 2006).

En ambas formas de simulación la EF varió de buena a satisfactoria en los sistemas agrícolas (A+R y A-R), de insatisfactoria a satisfactoria en los forestales y praderas y fue insatisfactoria en AGOS. Esto se explica porque el RothC se desarrolló y parametrizó para modelar cambios de COS en cultivos en experimentos de larga duración (Smith et al., 2000). Sin embargo, aunque en años más recientes se han modelado con RothC cambios de COS en bosques y pastizales (Coleman et al., 1997; Falloon et al., 1998, entre otros), así como también en sistemas agroforestales (Kaonga & Coleman, 2008) para agostaderos no se ha reportado su aplicación.

**Tabla 8.4** Estadísticos que describen desempeño del RothC con simulaciones puntuales de COS en sistemas de Oaxaca

| Sistemas/Estadísticos | n   | r    | SRME | EF    | ER   | b    |
|-----------------------|-----|------|------|-------|------|------|
| Agrícolas + residuos  | 122 | 0.86 | 0.25 | 0.67  | 0.08 | 0.86 |
| Agrícolas - residuos  | 126 | 0.86 | 0.36 | 0.48  | 0.19 | 0.73 |
| Forestales            | 76  | 0.84 | 0.47 | -1.22 | 0.28 | 0.69 |
| Praderas              | 19  | 0.63 | 0.24 | -0.89 | 0.18 | 0.81 |

n= número de pares de datos de COS simulados y observados, r=coeficiente de correlación, RCME=raíz del cuadrado medio del error, EF=eficiencia del modelo, b=parámetro de la ecuación de regresión lineal simple

**Tabla 8.5** Estadísticos que describen el desempeño del RothC en experimentos de corta duración en sistemas de México con simulaciones promedio de COS

| Sistemas/Estadísticos | n  | r    | SRME | EF    | ER    | b    |
|-----------------------|----|------|------|-------|-------|------|
| Agrícolas + residuos  | 71 | 0.95 | 0.36 | 0.69  | -0.01 | 0.87 |
| Agrícolas - residuos  | 65 | 0.97 | 0.43 | 0.84  | 0.12  | 0.74 |
| Forestales            | 24 | 0.93 | 0.31 | 0.81  | 0.10  | 0.82 |
| Agostaderos           | 34 | 0.24 | 0.40 | -0.16 | -0.08 | 0.86 |
| Praderas              | 9  | 0.81 | 0.18 | 0.31  | 0.12  | 0.86 |

n= número de pares de datos de COS simulados y observados, r=coeficiente de correlación, RCME=raíz del cuadrado medio del error, EF=eficiencia del modelo, b=parámetro de la ecuación de regresión lineal simple

### 8.3 Conclusiones

Con base a los resultados de desempeño del modelo RothC en la simulación de los cambios de COS en sitios y sistemas a nivel de parcela, en el caso de los sitios la EF del modelo fue calificada como satisfactoria y buena con excepción del Batán y en los sistemas sin considerar las simulaciones puntuales de los sitios de la Sierra norte de Oaxaca, la EF varió de buena a satisfactoria a buena en los sistemas agrícolas, forestales y praderas y fue insatisfactoria en AGOS. En ambos casos, las simulaciones indicaron que es necesario uniformizar y evitar errores asociados a las bases de datos (analíticos y de muestreo) y que falla en la modelación de sistemas más heterogéneos con mayor variabilidad del COS como sucede en los agostaderos.

### 8.4 Referencias

Acosta, M. J. (2003). *Diseño y aplicación de un método para estimar los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera en México*. Tesis Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.

Báez-Pérez, A.E., Huerta-Martínez, E., Velázquez-García, J. & Bautista-Cruz, M.A. (2011). Acumulación y flujo de carbono en vertisoles cultivados en labranza de conservación En F. Paz, & R.M. Cuevas (Eds.). *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México. Síntesis a 2011 del Programa Mexicano del Carbono (pp 204-2011)* México. D.F. Instituto Nacional de Ecología.

Buendía, C.R. (2011). *Estimación de almacenes de carbono en el suelo de cuatro especies tropicales en una plantación forestal en la Huerta, Jalisco*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Coleman, K. & Jenkinson D.S. (1996). RothC-26.3 – A model for the turnover of carbon in soil. pp. 237–246. In D.S. Powlson, P. Smith & J.U. Smith (Eds.), *Evaluation of soil organic matter models using existing, long-term datasets NATO ASI Series I*, Volume 38, Springer-Verlag, Berlin.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA). 2011. *Estación: Normales Climatológicas 1971-2000*. Recuperado el 4 ene. 2011 de <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/oax/NORMAL20209.TXT>

- Cortés, J.I., Turrent, A., Díaz P., Hernández, E., Mendoza, R., Aceves, E. (2005). *Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas*. Colegio de Postgraduados. México.
- Covaleda-Ocon S. (2008). *Influencia de diferentes impactos antrópicos en la dinámica del carbono y la fertilidad de los suelos volcánicos mexicanos implicaciones sobre el secuestro de carbono*. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. Palencia, España.
- Cerri, C.E.P., Easter, M., Paustian, K., Killian, K., Coleman, K., Bernoux, M., Falloon, P., Powlson, D.S., Batjes, N., Milne, E., & Carlos C.C. (2007). Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the Brazilian Amazon with RothC and Century models. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 122, 46-57.
- Coleman, K., Jenkinson, D.S., Crocker, G.J., Grace, P.R., Klír, J., Korschens, M., Poulton P.R., & Richter, D.D. (1997). Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. *Geoderma*, 81, 29-44.
- Eswaran, H., Van Den Berg, E., & Reich. P. (1993). Organic carbon soils of the world. *Soil Science Society American Journal*, 57, 192-194.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1998). *World reference base for soil resources*. World soil resources report, 84. Rome: FAO.
- Falloon, P., Smith, P., Coleman, K., & Marshall, S. (1998). Estimating the size of the inert organic matter pool from total soil organic carbon content for use in the Rothamsted carbon model. *Soil Biology and Biochemistry*, 30, 1207-1211.
- Falloon, P. & Smith, P. (2002). Simulating SOC changes in long-term experiments with RothC and CENTURY: model evaluation for a regional scale application. *Soil Use and Management* 18, 101-111.
- Francaviglia, R., Coleman, K., Whitmore, A.P., Doro, L., Urracci, G., Rubino, M., & Ledda, L. (2012). Changes in soil organic carbon and climate change – Application of the RothC model in agro-silvo-pastoral Mediterranean systems. *Agricultural Systems*, 112, 48-64.
- Fuentes, M., Govaerts, B., De León, F., Hidalgo, C., Sayre, K.D., Etchevers J., & Dendooven, L. (2009). Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. *European Journal of Agronomy*, 30, 228-237.
- González-Molina L., Etchevers-Barra, J.D. y Hidalgo-Moreno, C. (2008). Carbono en suelos de ladera: Factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia*, 42, 741-751.
- Gonzalez-Molina, L., Etchevers-Barra, J., Gonzalez-Camacho, J.M., Paz-Pellat, F. (2010). Soil organic changes at the plot level in hillside Systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139, 508-515.
- González-Molina, L. Moreno-Pérez, E. del C., Krishnamurty, L.R., Baéz-Pérez A., y Acosta, M.M. (2012). Simulación de los cambios de carbono orgánico del suelo en sistema de cultivo con higuera por el modelo RothC. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 47, 1647-1654.

Guo, L., Falloon, P., Coleman, K., Zhou, B., Li, Y., Lin, E., & Zhang, F. (2007). Application of the RothC model to Synthesis and Modeling of Greenhouse Gas Emissions and Carbon Storage in Agricultural and Forest Systems to Guide Mitigation and Adaptation o the results of long-term experiments on typical upland soils in northern China. *Soil Use Management*, 23, 63–70.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2000. *Extractor Rápido de Información Climatológica, ERIC-2*. Disco compacto. México.

Kaonga, M.L. & Coleman, K. (2008). Modelling soil organic carbon turnover in improved fallows in eastern Zambia using the RothC-26.3 model. *Forest Ecology and Management*, 256, 1160–1166.

Ludwig, B., Schulz, E., Merbach, I., Rethemeyer, J., Flessa, H. (2007). Predictive modelling of the C dynamics for eight variants of the long-term static fertilization experiment in Bad Lauchstädt using the Rothamsted Carbon Model. *European Journal Soil Science*, 58, 155–1163.

Ludwig, B., Kelin, H., Langan, N., & Xuejun, L. (2010). Modelling the dynamics of organic carbon in fertilization and tillage experiments in the North China Plain using the Rothamsted Carbon Model-initialization and calculation of C inputs. *Plant soil*, 332, 193-206.

Liu, D.L., Chan, K.Y., & Conyers, M.K. (2009). Simulation of soil organic carbon under different tillage and stubble management practices using the Rothamsted carbon model. *Soil Tillage Research*, 1, 65-73.  
Melgoza, C. A. 2006. *Situación actual de los agostaderos*. INIFAP-SAGARPA. USDA Forest Service Proceedings RMRS P-40. P. 85-86.

Kelin, B.H., Langan, N. & Xuejun, L. (2010). Modelling the dynamics of organic carbon in fertilization and tillage experiments in the North China Plain using the Rothamsted Carbon Model-initialization and calculation of C inputs. *Plant soil*, 332, 193-206.

O’Leary, G., Li, L.D., Ma, Y., Li, F.Y., McCaskill, M., Conyers, M., Dalal, R., Reeves, S., Page, K., Dang, Y.P. & Robertson, F. (2016). Modelling soil carbon 1. Performance of APSIM crop and pasture modules against long-term experimental data. *Geoderma*, 264, 227-237.

Pando M., Jurado, E., Manzano, M., y Estrada, E. (2004). The Influence of Land Use on Desertification Processes. *Journal of Range Management*, 57, 320-324.

Reid, N., Marroquin, J. & Beyer-Munzel, O. (1990). Utilization of shrubs and trees for browse fuelwood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern México. *Forest Ecology Management*, 36, 61-79.

Richards, G.P. (2001). *The FullCam carbon accounting model: Development calibration and implementation for the national carbon accounting system*. Technical report 28 of the Australian Greenhouse Office, 60 pp.

Shirato, Y., Paisanchoen, K., Sangtong, P., Nakviro, C., Yokozawa, M., & Matsumoto, N. (2005). Testing the Rothamsted Carbon Model against data from long-term experiments on upland soils in Thailand. *European Journal of Soil Science*, 56, 179–188.

Smith, P., Smith, J.U., Powlson, D.S., McGill, W.B., Arah, J.R.M., Chertov, O.G., Coleman, K., Franjo, U., Frolking, S., Jenkinson, D.S., Jensen, L.S., Kelly, R.H., Klein-Gunnewiek, H., Komarov, A.S., Li, C., Molina, J.A.E., Muller, T., Parton, W.J., Thornle, J.H.M., & Whitmore, A.P. (1997). A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven longterm experiments. *Geoderma*, 81, 153–225.

Vergara, S.M.A., Etchevers, J.D. y Vargas, M. (2004). Variabilidad del carbono orgánico en suelos de ladera del sureste de México. *Terra*, 22, 359-367

## **Producción de garbanzo en función del Nitrógeno en ambientes contrastantes**

APÁEZ-BARRIOS, Maricela, ESCALANTE-ESTRADA, José Alberto Salvador, RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, María Teresa y APÁEZ-BARRIOS, Patricio

M. Apáez`, J. Escalante`, M. Rodríguez` y P. Apáez``

` Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Edo de México

`` Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”. UMSNH. Paseo Lázaro Cárdenas esquina con Berlín. Uruapan, Michoacán. México

apaez.maricela@colpos.mx

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

Chickpea has high protein content. Although the climate where expressed their highest potential is warm, also adapts to temperate climate. It is necessary to meet the nutrient requirement of nitrogen (N). The objectives of the study were to determine the effect of N on: phenology, accumulation of total biomass and yield of chickpea. Chickpea in two climates, warm temperate (C2) and (C1) was planted under conditions of seasonal rain. The treatments were the result of the combination of two climates C1, C2 and 0, 75 and 150 kg N ha<sup>-1</sup> (N0, N75 and N150). The combination of C1-N150 generated the greatest accumulation of total biomass (BT, 994 g m<sup>-2</sup>), grain yield (RG, 327 g m<sup>-2</sup>), number of pods (NV, 157 m<sup>-2</sup>) and number of grains (NG, 204 m<sup>-2</sup>).

## 9 Introducción

En los últimos años el uso de alimentos de origen vegetal que contribuyan con la nutrición y que además, contengan propiedades nutraceuticas ha cobrado más importancia. De ahí las leguminosas son parte importante del plato del buen comer por su alto contenido proteico. Entre estas se encuentra el garbanzo el cual contiene mayor cantidad de proteína, calcio, hierro y potasio en relación al haba (*Vicia faba* L.), ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) y chícharo (*Pisum sativum* L.) (Muy *et al.*, 2011). En el país los principales estados productores son Sinaloa, Sonora, Michoacán, Guanajuato, Baja California Sur, Jalisco y Guerrero (SIAP, 2015). El estado de México no figura entre las regiones productoras, sin embargo es una excelente opción el estudio del comportamiento de este cultivo bajo estas condiciones climáticas.

Este cultivo está adaptado a clima cálido (Muy *et al.*, 2011). No obstante, bajo condiciones de clima templado se puede desarrollar en meses en donde la temperatura no sea baja (Apáez *et al.*, 2016). Además de que representa una excelente alternativa forrajera para regiones de clima templado por su alta palatabilidad y contenido de proteína en estado inmaduro. Por otra parte, la temperatura y la acumulación de biomasa (BT) están estrechamente correlacionadas, ya que cualquier cambio significativo repercutirá directamente sobre la BT y por tanto en el rendimiento de grano (Kobata y Uemuki, 2004).

Padilla y Mendivil (2003), señalan que el rendimiento depende de la precocidad de la variedad, precipitación y cambios drásticos de temperatura. Aunado a lo anterior el N es el nutrimento que determina en mayor medida el rendimiento, al ser constituyente de la clorofila y los aminoácidos que intervienen en la síntesis de proteínas (Fageria y Baligar, 2005). También se ha reportado la relación que existe entre el contenido de N en la planta con el tamaño y la duración del aparato fotosintético lo cual genera un mayor número de vainas y en consecuencia mayor rendimiento (Escalante y Rodríguez, 2011). Escalante *et al.* (2007), mencionan que la nula aplicación de N al suelo, ocasiona acumulación de azúcares en los tejidos de la planta, lo que contribuye a la deposición de lignina y celulosa en las paredes celulares por lo que genera que la planta se torne quebradiza. Además de que la fertilización nitrogenada genera mayor crecimiento del dosel vegetal y por tanto mayor rendimiento de grano (Apáez *et al.*, 2013). En relación al N Apáez *et al.* (2016) en garbanzo encontraron que con dosis de 100 kg N ha<sup>-1</sup> se incrementa el rendimiento. Es necesario determinar la dosis más apropiada de fertilización principalmente de nitrógeno (Olaleye *et al.*, 2011), ya que llega un punto máximo de absorción por la planta y por ende el N aplicado en exceso causa contaminación en el suelo (Cárdenas *et al.*, 2004). Dicho nutrimento es el más demandante por el cultivo, por lo que se requiere cantidades apropiadas que favorezcan la mayor producción de materia seca, incrementen el rendimiento, número de vainas y número de semillas por vaina, ya que estos son los componentes que mayor relación tienen con la acumulación de materia seca hacia el grano (Aguilar *et al.*, 2005).

En garbanzo, son escasos los estudios al respecto. Por lo que los objetivos fueron determinar el efecto del tipo de clima (C), N y su interacción sobre: a) la fenología, b) biomasa total, c) índice de cosecha d) rendimiento de grano; e) componentes de rendimiento y f) rentabilidad económica.

## 9.1 Metodología

El estudio se estableció en dos sitios en Huitzuco, Gro., México ( $18^{\circ} 15' N$ ,  $99^{\circ} 09' O$  y 1086 m de altitud), de clima cálido ( $AW_1$ ) y en Montecillo, Texcoco, Edo. de México, Méx. ( $19^{\circ} 27' N$ ,  $98^{\circ} 54' O$  y 2249 m de altitud), de clima templado ( $CW_1$ ) (García, 2005). El material genético de garbanzo fue criollo o nativo de grano color blanco proveniente de Huitzuco, Gro. La siembra en Huitzuco, Gro. se realizó el 01 de junio y en Montecillo Edo. de Méx el 03 de junio de 2014 bajo condiciones de lluvias estacionales, a densidad de población de 15 plantas  $m^{-2}$  para ambos sitios. En ambas localidades se aplicó 0, 75 y 150 kg de N ( $N_0$ ,  $N_{75}$  y  $N_{150}$ ; respectivamente). La combinación de dos tipos de clima (C1 y C2) y N, generó seis tratamientos (C1- $N_0$ , C1- $N_{75}$ , C1- $N_{150}$ , C2- $N_0$ , C2- $N_{75}$  y C2- $N_{150}$ ; respectivamente). La mitad de N se aplicó a los 20 días después de la siembra (dds) y el resto a los 45 dds. La fuente de N fue: sulfato de amonio (20.5% N). El diseño experimental fue de bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones. En ambos climas se realizó un análisis físico químico del suelo para conocer el nivel inicial de fertilidad. El suelo del clima cálido (C1) es de textura franco-arcillosa, densidad aparente de  $1.25 g cm^{-3}$ , pH 7.2, CE baja ( $0.32 dS m^{-1}$ ), bajo en N-inorgánico ( $3.0 mg kg^{-1}$ ) y bajo en P ( $11 mg kg^{-1}$ ); el clima templado (C2) es de textura franco arcillo arenoso, densidad aparente de  $1.22 g cm^{-3}$ , pH 8.2, CE baja ( $0.41 dS m^{-1}$ ), bajo en N-inorgánico (3.46 ppm) y muy alto en P ( $66.8 mg kg^{-1}$ )

Durante el ciclo del cultivo se registró la temperatura máxima ( $T_{max.}$ , °C) y mínima ( $T_{mín.}$ , °C) y precipitación acumulada (mm), los datos para C1 fueron obtenidos de estación meteorológica automática (12,115) Huitzuco (DGE)-GRO y para C2 de la estación meteorológica del colegio del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo Texcoco, Edo. de Méx.

Se registraron las fases fenológicas: días a emergencia (E), a inicio de floración (R1), inicio de fructificación (R2), final de fructificación (R3) y madurez fisiológica (RH) de acuerdo con el criterio presentado en Padilla (2008). A madurez fisiológica (RH) se registró la biomasa total (BT,  $g m^{-2}$ ), el rendimiento de grano (RG,  $g m^{-2}$ ), el número de vainas por  $m^2$  (NV) y número de granos por  $m^2$  (NG). A las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza y a las que resultaron con diferencias significativas la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad mediante el paquete SAS versión 9.0 (SAS, 2003). Adicionalmente se aplicó un análisis de rentabilidad económico de acuerdo a las recomendaciones de CIMMYT (1998).

## 9.2 Resultados

### 9.2.1 Clima y fenología

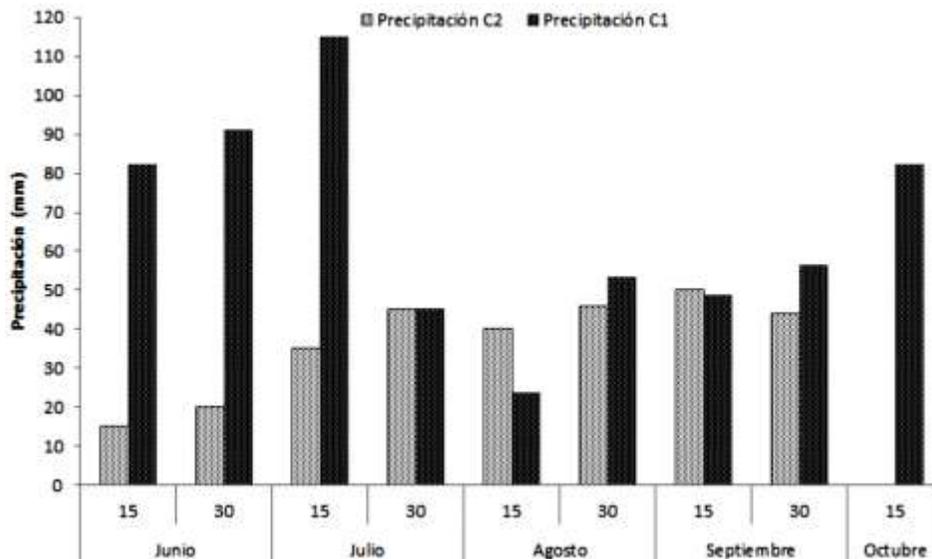
Para el clima cálido (C1), durante el ciclo del cultivo, la temperatura mínima ( $T_{mín}$ ) y máxima ( $T_{máx}$ ) promedio fue de 17 y 34 °C, respectivamente. Las más altas ocurrieron desde la siembra (S) hasta los 50 días después de la siembra (dds). Después la temperatura disminuyó hasta el final de la fructificación (R3), de tal manera que la más baja se presentó a RH (16 °C). La precipitación acumulada fue de 687 mm; el 64 % (409 mm) se presentó de S a inicio de floración (R1) y el 36 % (224 mm) en la etapa reproductiva, es decir, de R1 a RH (madurez fisiológica). Respecto al clima templado (C2), las  $T_{máx}$  y  $T_{mín}$  promedio fueron de 22 °C y 9.6 °C, respectivamente.

Las Tmáx más elevadas se presentaron en la tercera, cuarta y sexta semana después de la siembra, la Tmín ocurrió en la segunda semana después de la siembra (7.0 °C). Posteriormente la Tmáx disminuyó, así, en la primera quincena de agosto fue de 25.0 °C, hasta la primera quincena de octubre que correspondió a la madurez fisiológica (RH). La precipitación acumulada fue de 434 mm; el 26 % (115 mm) se presentó de S a inicio de floración (R1) y el 73 % (224 mm) en la etapa de R1 a RH (Tabla 9 y Gráfico 9). Se observó diferencia en los días a fases fenológicas entre climas. Así, en C1 la emergencia (E) se presentó a los diez días después de la siembra (dds), el inicio de floración (R1) a los 55 dds, inicio de fructificación a los 70 dds, final de la fructificación a los 100 dds y la madurez fisiológica a los 115 dds. En contraste, en C2 se observó un retraso para la E en 2 días, para R1 en 7 días, R2 en 13 días, R3 en 10 días y RH en 10 días. Lo anterior puede ser atribuido a la temperatura más alta de C1, lo que condujo a una reducción en la duración del ciclo de desarrollo del garbanzo. Bejiga y Van Der Maesen., (2006) indican que el rango óptimo de temperatura para el cultivo del garbanzo es de 10 a 25 °C con óptimo de 20 °C, similares al clima templado pero más bajas que el cálido del presente estudio.

**Tabla 9** Temperatura mínima (Tmín), máxima (Tmáx) (media quincenal) durante el ciclo del cultivo del garbanzo en función del tipo de clima y Nitrógeno. Huitzucó, Gro y Montecillo, Méx. Verano de 2014

| Mes        | Quincena | Clima cálido (C1) |      |                         | Clima templado (C2) |      |                         |
|------------|----------|-------------------|------|-------------------------|---------------------|------|-------------------------|
|            |          | Tmín              | Tmáx | Fases Fenológicas (dds) | Tmín                | Tmáx | Fases Fenológicas (dds) |
|            |          | -----°C-----      |      |                         | -----°C-----        |      |                         |
| Junio      | 1        | 17.8              | 35.8 | E                       | 8                   | 20   | E                       |
| Junio      | 2        | 17.7              | 35.3 |                         | 7                   | 21   |                         |
| Julio      | 3        | 17.1              | 34.7 |                         | 8                   | 23   |                         |
| Julio      | 4        | 17                | 34.9 | R1                      | 10                  | 24   |                         |
| Agosto     | 5        | 16.3              | 34.7 | R2                      | 13                  | 25   | R1                      |
| Agosto     | 6        | 16.3              | 33.3 | R3                      | 13                  | 23   | R2                      |
| Septiembre | 7        | 16.4              | 33.7 |                         | 12                  | 23   | R3                      |
| Septiembre | 8        | 16.1              | 33.1 | RH                      | 10                  | 21   |                         |
| Octubre    | 9        |                   |      |                         | 8                   | 20   | RH                      |

**Gráfico 9** Precipitación (suma quincenal) durante el ciclo de cultivo del garbanzo. Huitzucó, Gro clima cálido (C1) y Montecillo, Méx clima templado (C2), Verano de 2014



### 9.2.2 Biomasa total

La BT en Garbanzo, mostró cambios significativos por efecto de C, N y la interacción C\*N (Tabla 9.1). Así, la BT en C1 fue superior en 48% a la BT de C2. Con N150 la BT se incrementó en 88% en relación al testigo (N0). Con C1-N150, se registraron los valores más altos, en promedio 994 g m<sup>-2</sup>, 212% superior al C2-N0 (Tabla 9.2). La mayor BT en clima cálido (C1) y altas dosis de N, puede ser consecuencia de la diferencia en la textura del suelo lo que pudo provocar mayor aprovechamiento de los recursos hídricos e incluso nutricionales. Con lo cual, puede aumentar la radiación interceptada, que resulta en mayor actividad fotosintética y acumulación de biomasa total (Escalante, 1995). En relación a la respuesta del N este favoreció en gran medida al crecimiento del dosel vegetal y que por tanto existe una mayor fuente de fotosintatos (Fageria y Baligar, 2005).

### 9.2.3 Índice de cosecha

El índice de cosecha (IC) no mostró cambios significativos por efecto de C, N e interacción C\*N (Tabla 9.1). El IC promedio fue de 32%, similar al reportado por Saxena y Johansen (1988), quienes en cultivares de garbanzo tolerantes al frío reportan IC de 32%. Esto sugiere que las condiciones de clima y el suministro de N no afectaron la distribución de materia seca hacia el grano.

Finalmente, estos resultados indican que las condiciones ambientales del C1 fueron más favorables para una mayor producción de BT, y que el suministro de N estimula una mayor producción de materia seca (MS). Asimismo el N al generar una mayor demanda de fotoasimilados, eleva la asignación de MS hacia el grano (Escalante y Rodríguez, 2011).

### 9.2.4 Rendimiento de grano y sus componentes

En el Tabla 9.1 se observa que el RG y sus componentes, número de vainas (NV) y número de granos (NG) presentaron cambios significativos por efecto de la C, N y la interacción C\*N. En C1, el RG fue superior en 87 g m<sup>-2</sup>, NV en 44 m<sup>-2</sup> y el NG en 58 por m<sup>-2</sup> en relación a C2. Con N150, se logró el mayor RG, NV y NG con incrementos en relación al testigo (N0) de 115, 72 y 73 % respectivamente. En cuanto a la combinación C\*N, el mayor RG, NV y NG se logró con C1-N150, con incrementos en relación al C2-N0 de 220, 80 y 187 %, respectivamente.

Con el suministro de N se reportan incrementos en el RG de hasta 30 % al aplicar 100 kg de N ha<sup>-1</sup> (Roy y Sharma, 2006). Escalante y Rodríguez (2010) en otra leguminosa como el haba (*Vicia faba* L.), encontraron que con aplicación de 99 kg de N ha<sup>-1</sup> aumenta significativamente el NV, NG y en consecuencia en el RG.

**Tabla 9.1** Probabilidad de F para biomasa total (BT), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG), número de vainas (NV) y número de granos (NG), en función del tipo de clima y Nitrógeno. Huitzoco, Gro y Montecillo, Méx. Verano de 2014

| Factor | BT g m <sup>-2</sup> | IC (%) | RG g m <sup>-2</sup> | NV m <sup>-2</sup> | NG m <sup>-2</sup> |
|--------|----------------------|--------|----------------------|--------------------|--------------------|
| C      | **                   | NS     | **                   | **                 | **                 |
| N      | **                   | NS     | **                   | **                 | **                 |
| C*N    | **                   | NS     | **                   | *                  | *                  |

\*, \*\* = P ≤ 0.01 y 0.05, respectivamente  
NS = No significativo

**Tabla 9.2** Biomasa total (BT), rendimiento de grano (RG), número de vainas (NV) y número de granos (NG), en función del tipo de clima y Nitrógeno. Huitzucó, Gro y Montecillo, Méx. Verano de 2014

| Factor                | Nitrógeno (kg ha <sup>-1</sup> ) | BT g m <sup>-2</sup> | RG g m <sup>-2</sup> | NV m <sup>-2</sup> | NG m <sup>-2</sup> |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| C1                    | 0                                | ¶624c                | 200c                 | 108c               | 140c               |
|                       | 75                               | 870b                 | 281b                 | 132a               | 174ab              |
|                       | 150                              | 994a                 | 327a                 | 157a               | 204a               |
| C2                    | 0                                | 318d                 | 102d                 | 55d                | 71d                |
|                       | 75                               | 578c                 | 187c                 | 87c                | 113d               |
|                       | 150                              | 784b                 | 258 b                | 123ab              | 160b               |
| Clima (C)             | C1                               | 829a                 | 269a                 | 132a               | 172a               |
|                       | C2                               | 560b                 | 182b                 | 88b                | 114b               |
| Nitrógeno (N)         | 0                                | 471c                 | 139c                 | 81c                | 105c               |
|                       | 75                               | 724b                 | 240b                 | 109b               | 143b               |
|                       | 150                              | 889a                 | 299a                 | 140a               | 182a               |
| Media                 |                                  | 695                  | 226                  | 110                | 143                |
| Tukey <sub>0.05</sub> | C                                | 112                  | 89                   | 44                 | 58                 |
|                       | N                                | 165                  | 58                   | 27                 | 37                 |
|                       | C*N                              | 88                   | 27                   | 28                 | 43                 |

¶En cada columna los tratamientos con letra similar indica que las diferencias no fueron significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), DMS<sub>0.05</sub> = diferencia mínima significativa al 5 % de probabilidad de error

### 9.2.5 Rentabilidad económica

En el Tabla 9.3 se observa la rentabilidad económica, la cual presentó cambios significativos por efecto de la interacción C\*N. La combinación de C1-N150 generó el mayor RG (3,270 kg ha<sup>-1</sup>), IN (\$43,738.99) y GPI (\$2.0). Con la adición de N aumenta el tamaño del dosel vegetal, principal fuente de fotoasimilados por lo que incrementa el rendimiento de grano (Escalante y Rodríguez, 2011) y por ende IN más elevado. Respecto a la utilización del N, resultados similares reportan Apérez *et al.* (2016) al obtener el rendimiento más alto con la mayor dosis de N (100 kg de N ha<sup>-1</sup>). Los tratamientos sin N presentaron la menor GPI.

**Tabla 9.3** Rendimiento de garbanzo (RG), ingresos totales (IT), costos fijos (CF), variables (CV) y totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en función del en función del tipo de clima y Nitrógeno. Huitzucó, Gro y Montecillo, Méx. Verano de 2014

| Clima                           | Nitrógeno (N) | RG             | IT        | CF                    | CV        | CT        | IN        | GPI     |
|---------------------------------|---------------|----------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| ----- kg ha <sup>-1</sup> ----- |               | ----- \$ ----- |           |                       |           |           |           |         |
| C1                              | 0             | ¶2,000c        | 40,000c   | 8,900a                | 9,126c    | 18,026c   | 21,973b   | 1.2a    |
|                                 | 75            | 2,810b         | 56,200b   | 8,900a                | 11,115b   | 20,015b   | 36,184a   | 1.8a    |
|                                 | 150           | 3,270a         | 65,400a   | 8,900a                | 12,761b   | 21,661b   | 43,738a   | 2.0a    |
| C2                              | 0             | 1,020d         | 20,400d   | 8,900a                | 9,126c    | 18,026c   | 2,373d    | 0.1c    |
|                                 | 75            | 1,870c         | 37,400c   | 8,900a                | 14,072a   | 22,972a   | 14,427c   | 0.6c    |
|                                 | 150           | 2,580b         | 51,600b   | 8,900a                | 15,978a   | 24,878a   | 26,721b   | 1.1c    |
| Tukey 0.05<br>Prob F            | C*N           | (270)**        | (4,800)** | (1,120) <sup>NS</sup> | (1,950)** | (1,745)** | (7,600)** | (0.6)** |

Ingreso total = rendimiento \* precio por kg de garbanzo (\$ 20.00). Costo fijo = incluye costos de preparación del terreno, control de plagas y enfermedades. Costos variables = incluyen el costo de fertilizante, cosecha y flete. Costo total = costo fijo + costo variable. Ingreso neto = ingreso total – costo total

¶En cada columna los tratamientos con letra similar indica que las diferencias no fueron significativas, según Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). \*, \*\* =  $P \leq 0.01$  y  $0.05$ , respectivamente

### 9.3 Conclusiones

Los días a ocurrencia de las fases fenológicas del garbanzo dependen del clima de desarrollo del cultivo. El clima y el suministro de nitrógeno determinan la producción de biomasa, rendimiento, número de granos, número de vainas y rentabilidad económica del cultivo. La mayor producción de biomasa, rendimiento de grano, número de granos, número de vainas y rentabilidad económica se logra en clima cálido con 150 kg de N ha<sup>-1</sup>.

### 9.4 Referencias

- Aguilar, G. L., J. A. Escalante E., L. Fucikovsky Z., L. Tijerina C. y E. Mark E. (2005). Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra*. 23(3): 303-310.
- Apáez, B. P. Escalante, E. J. A. S. Ramírez V. P. Koch, O. S. D. Sosa, M. E. Olalde, G. V. M. (2013). Eficiencia agronómica del nitrógeno y fósforo en la producción de frijol chino en espaldera de maíz. *Terra Latinoamericana*. 31(4): 285-293.
- Apáez, B. M. Escalante, E. J. A. S. Rodríguez, G. M. T. Apáez, B. P. (2016). Distancia entre hileras, nitrógeno y producción de garbanzo en humedad residual. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(2): 223-234.
- Cárdenas, N. R., J. M. Sánchez Y, R. Farías R. y J. J. Peña C. (2004). Los aportes de nitrógeno y fósforo en la agricultura. *Rev. Ser. Hort.* 10(2): 173-178.
- CIMMYT, (1998). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica. CIMMYT, México. 79 p.
- Escalante, E. J. A. (1995). Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad* 12: 28-32.
- Escalante, E. L. E. Escalante, E. Y. I. Linzaga E. C. (2007). La fertilización nitrogenada en el rendimiento del girasol en México. *Agronomía Costarricense* 31(2): 95-100.
- Escalante, E. J. A y Rodríguez, G. M. T. (2010). Biomasa y rendimiento en haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. *Ciencias Agrícolas Informa* 20(1):16-25.
- Escalante, E. J. A. y Rodríguez G. M. T. (2011). Biomasa y rendimiento de haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. *Ciencias Agrícolas Informa* 20: 16-25.
- Fageria, N. K. and V. C. Baligar. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Elsevier Inc. 88: 97-185.
- García, E. (2005). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Kobata, T. and Uemuki, N. (2004). High temperatures during the grain filling period do not reduce the potential grain dry matter increase of rice. *Agron. J.* 96:406-414.

- Muy, R. M. D. Verdugo, P. M. Osuna, E, T. Báez, S, M. A. Basilio, H, J. Valdez T, B. Contreras, M, R. Sañudo, B. J. A. Campos, S, J. P. (2011). Caracterización del garbanzo verde (*Cicer arietinum* L.) y tecnologías postcosecha para mantener su calidad. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 17(1):39-45.
- Olalde, G. V. M, Escalante, E. J. A, Sánchez, G. P. Tijerina, C. L. Mastache, L. A. A y Carreño, R. E. (2000). Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. Terra Latinoamericana, 18(4): 313-323.
- Olaleye, O. F. Olajire, R. C. Aboido and I. Nnenna. (2011). Nitrogen and Phosphorus Response Efficiency in cowpea Genotypes. J. Agric. Sci. 4: 81-90.
- Padilla, V. I. R. Mendívil, L. (2008). Efecto de la fecha de siembra en el rendimiento y calidad del garbanzo blanco (*Cicer arietinum* L.) en el Valle del Mayo. In: Memorias del VI Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. Universidad de Baja California. pp: 409-415.
- Roy, R. K and Sharma, R. P. (2006). Performance of Chickpea genotypes at varying plant population and fertility levels under lat-sown conditions. International Chickpea newsletter 14:19-20.
- Saxena, N. P. Johansen, C. S. (1998). La mejora en el índice de cosecha del garbanzo a través de la incorporación de la tolerancia al frío. International Crops Research Institute for semi-Arid Tropisc. 19:17-19.
- SIAP. (2015). Avance de siembras y cosechas. <http://www.siap.gob.mx> (Fecha de consulta: 12-02-2016).
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2003). SAS/STAT User's Guide Release 9.1 ed, Cary, NC, USA.

## **DRON polinizador de cultivos. Detección de flores con algoritmos de visión artificial**

CASTELLANOS-SERRANO, Luis Tonatiuh, CERVANTES-BAZÁN, Josué Vicente y LÓPEZ-CHIMIL, Humberto

L. Castellanos´, J. Cervantes´´, H. López´´´

´ Profesor-Investigador del Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca (TESI)

´´ Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de México

´´´ Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo

procesoslce@hotmail.com

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.-  
©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

Drones have become a technology in the vogue of the 21st century, its first applications are merely military, but today its range of application is unlimited. One of the important topics of the discussion has been the low population decline of bees, colloquially named "Bee Colony Syndrome", showing different factors in the different populations of the country, there are different methods to counteract this deplorable desertion of The bees, so in this article we present technical conceptualization and engineering, for the design of a DRON crop pollinator. The construction of a DRON pollinator is not a simple task and involves multiple branches of engineering, because the article focuses on the discussion of the artificial vision aspect for the detection of flowers, explaining in detail the methodology and procedures carried out by a cable To obtain a cascade file classifier by the Viola-Jones algorithm, better known as haartraining. Topics such as the OpenCV library, the process for creating a classifier for object recognition, evaluation tests for object recognition and the results obtained have been discussed.

## 10 Introducción

Las tecnologías agronómicas son hoy en día una discusión que han tomado suma importancia en los temas mundiales, la hambruna, desnutrición, la mala calidad de alimentos, etc. Son indicios graves que deben atenderse a la brevedad, uno de los sectores de alta importancia, son los cultivos dependientes de los polinizadores de cultivos, Berenice González Durand en su artículo “México pierde cultivos por falta de polinizadores” nos dice:

Se pierde casi la mitad del valor total de los cultivos dependientes de la polinización. El calentamiento global y el uso de pesticidas han mermado sus poblaciones. (Durand, 2015)

Esto nos hace realizar el ejercicio de la reflexión valorando la importancia de las especies polinizadoras, mostrándonos estadísticas sorprendentes que nos deben conducir al ejercicio de la reflexión, mostrándonos lo importante que son las especies polinizadoras en nuestra vida diaria, y el caos que la humanidad está llegando al amenazar unos de los eslabones de la cadena alimenticia.

Un DRON en su forma básica se define como una aeronave no tripulada, hoy en día sus aplicaciones son multipropósito, que van desde hobbistas hasta aplicaciones militares. El presente documento propone el diseño de un dron polinizador de cultivos, el cual en su estructura general para poder ser concebirlo debe de desglosarse en diferentes fases de desarrollo de ingeniería, entre las etapas más importante podemos enlistar:

- Sistema de control.
- Hardware embebido.
- Algoritmos genéticos de inteligencia artificial.
- Procesamiento de visión artificial.
- Diseño mecánico de fuselaje.
- Sistema aerodinámico.

El presente artículo pretende aborda la discusión técnica del proceso de visión artificial, mostrando la metodología de diseño de algoritmos computacionales para crear sistemas inteligentes que detecten flores de tiempo real, esto con la premisa de poder incorporarlo en un futuro no muy lejano y crear un prototipo funcional de dron polinizador de cultivos.

## **10.1 Metodología de detección de flores con visión artificial**

### **10.1.1 Detección de objetos tiempo real**

La librería OpenCV es una recopilación de instrucciones de software libre para el diseño de algoritmos de visión artificial.

La librería OpenCV en su página oficial 2016 nos dice: “OpenCV (Open Source Computer Vision Library) is an open source computer vision and machine learning software library. OpenCV was built to provide a common infrastructure for computer vision applications and to accelerate the use of machine perception in the commercial products. Being a BSD-licensed product, OpenCV makes it easy for businesses to utilize and modify the code.

“The library has more than 2500 optimized algorithms, which includes a comprehensive set of both classic and state-of-the-art computer vision and machine learning algorithms” (Copyright, 2016)

### **10.1.2 Entrenamiento haartraining**

Una de las herramientas que OpenCV ofrece, se llama Haartraining, es un complejo algoritmo para el reconocimiento de imágenes. En la documentación que se puede consultar de forma gratuita en la Web de OpenCV, explican de manera completa el fundamento matemático en que se basa el algoritmo para su justificación y además los parámetros que se deben de ingresar para ejecutar los comandos. (Rezaei, 2011) .

### **10.1.3 Entrenamiento haartraining de un objeto de prueba**

Para corroborar en una primera fase los pasos necesarios para realizar un entrenamiento haartraining, se procede a detectar un objeto de prueba que sirva como experimento para obtener la metodología adecuada de cómo llevar con éxito un entrenamiento de este tipo.

El primer paso es seleccionar un objeto de prueba, en este caso se escogió una flor artificial de girasol, vista de la parte enfrente, como se muestra a continuación:

**Figura 10** Objeto de prueba

Para realizar un entrenamiento que sirva para detectar objetos en tiempo real, es necesario contar con muestras positivas y negativas. Las muestras positivas son imágenes donde se contiene el objeto que se desea detectar y las imágenes negativas son imágenes que no contienen el objeto que se desea detectar. Para ello se crea un catálogo amplio de muestras positivas y muestras negativas, que no es más que una colección de imágenes que puede estar en formato .jpg o .bmp, o cualquier otro formato soportado por el entrenador de OpenCV (consultar documentación), para el presente caso se ocupan imágenes en formato .jpg, ya que el hecho de usar imágenes en .bmp aumenta el peso de KB de las imágenes, dándoles mejor calidad y en consecuencia haciendo más tardado el entrenamiento por el aumento de resolución.

Para el entrenamiento de prueba se recolectan 100 imágenes positivas y 300 imágenes negativas que se procede a almacenar en 2 carpetas diferentes.

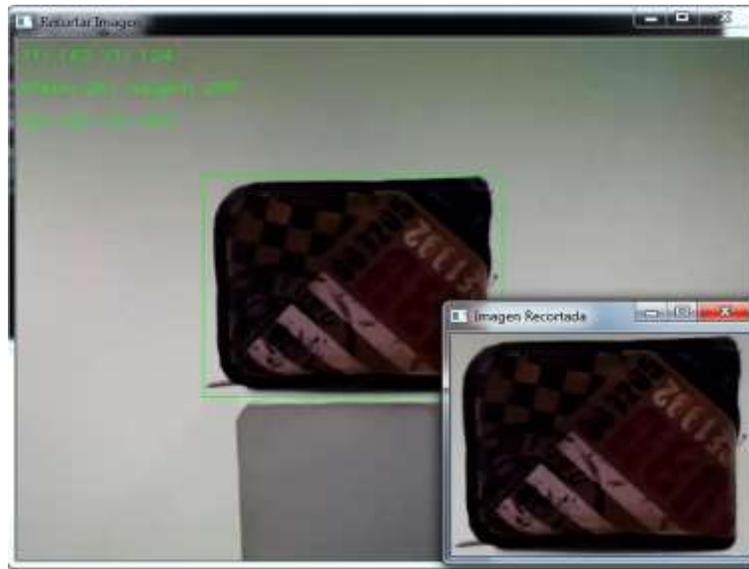
Una vez obtenidas las muestras positivas y negativas es necesario crear un fichero de direccionamiento que le sirva a el entrenador de OpenCV como guía de donde están resguardadas las imágenes, solo que dichos ficheros llevan información diferente, en cualquiera de los dos casos estos ficheros son archivos de Bloc de notas con extensión ".txt".

Para el caso de las imágenes positivas se debe agregar la misma información que el fichero de las muestras negativas, más, la cantidad de objetos detectados, el punto "x, y" el ancho y largo donde se encuentra el objeto, su estructura es la siguiente:

Ruta\_de\_la\_carpetas/Nombre\_imagen.Extensión - #Objetos Coordenadas - x - y (Punto Inicial) - Ancho - Largo

En la siguiente Figura puede apreciarse mejor la idea:

**Figura 10.1** Programa ObjectMarker diseñado para la obtención de posiciones del objeto



El punto es tener una imagen que posea el objeto que se desea detectar, obtener el número de objetos que tiene, sus coordenadas de punto de inicio, su ancho y largo, para que el programa pueda trazar un rectángulo que le ayude a delimitar donde está el objeto que se desea detectar.

Para poder realizar el trabajo de una forma más sencilla y dinámica, se procede a diseñar una herramienta que se nombra "ObjectMarker", un programa diseñado en Visual C++, que tiene como objetivo facilitar la obtención del fichero de muestras positivas, en la imagen 3 se puede apreciar cómo se ejecuta. (Comunidad de Programadores de Software Libre del Ecuador, 2010)

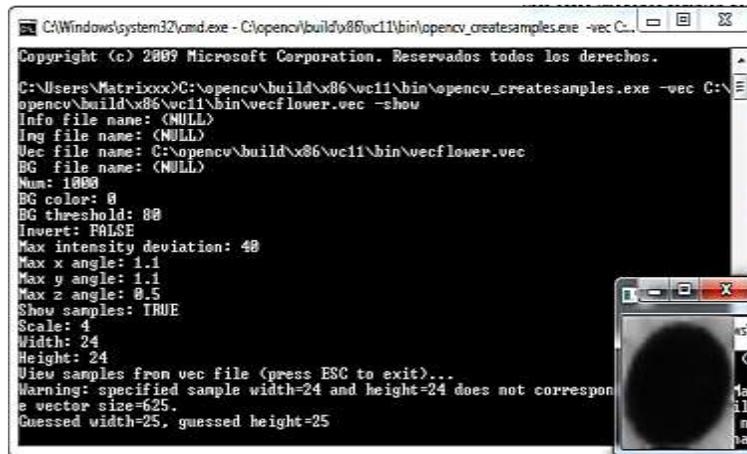
Una vez obtenidos los ficheros de las muestras positivas y negativas, se recomienda copiar las 2 carpetas que contienen las imágenes y también los dos archivos .txt a la dirección C:\opencv\build\x86\vc11\bin, lugar donde se encuentran los programas para el entrenamiento.

El siguiente paso es ejecutar un programa llamado "opencv\_createsamples" mismo que se encuentra en la ruta ya antes mencionada, el programa debe ejecutarse desde la consola, por lo que es necesario abrir el CMD de Windows, y ejecutar el siguiente comando:

`opencv_createsamples -info -vec -num -w -h` (Comunidad de Programadores de Software Libre del Ecuador, 2010)

Una vez ejecutado el programa, no demora mucho en crear un archivo ".vec" con el nombre y la ruta que se le especifica, para corroborar que el programa haya realizado de forma exitosa la operación puede ejecutar el siguiente comando:

**Figura 10.2** Ejecución del comando para verificar muestras vectoriales desde CMD



```

Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

C:\Users\Matrixxx>C:\opencv\build\x86\vc11\bin\opencv_createsamples.exe -vec C:\
opencv\build\x86\vc11\bin\vecflower.vec -show
Info file name: <NULL>
Img file name: <NULL>
Vec file name: C:\opencv\build\x86\vc11\bin\vecflower.vec
BG file name: <NULL>
Num: 1000
BG color: 0
BG threshold: 80
Invert: FALSE
Max intensity deviation: 40
Max x angle: 1.1
Max y angle: 1.1
Max z angle: 0.5
Show samples: TRUE
Scale: 4
Width: 24
Height: 24
View samples from vec file (press ESC to exit)...
Warning: specified sample width=24 and height=24 does not correspond
to vector size=625.
Gessed width=25, gessed height=25
  
```

Como se observa en la figura anterior al momento de ejecutar el comando, se despliega una nueva ventana, que muestra en escala de grises las partes que delimitan con el "ObjectMarker" de las imágenes positivas que interesa detectar, con ello el resultado es un archivo del tipo vectorial que contiene todas las muestras positivas en un solo ancho, largo y en escala de grises.

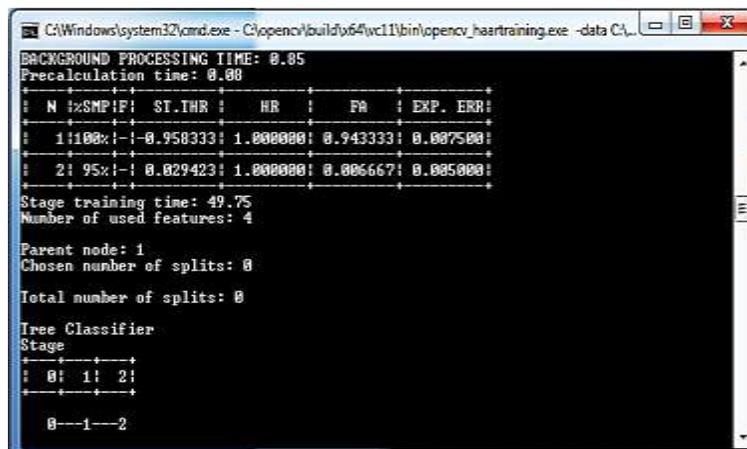
Teniendo el archivo vectorial se ejecuta el entrenamiento de cascada, en el presente caso con el programa "opencv\_haartraining", los parámetros que se deben de tener en cuenta para invocar este comando son:

```
opencv-haartraining -data -vec -bg -nstages -nsplit -minhitrate -maxfalsealarm -npos -nneg -w -h -nonsym -mem -mode ALL (IOSR Journal of Computer Engineering, 2014)
```

Con los datos anteriores se ejecuta el programa desde CMD.

Al ejecutar el haartraining, se puede apreciar en la consola, como se van estructurando los arboles de entrenamiento del clasificador, en la siguiente imagen se puede ver como el clasificador va ensamblando los árboles. (Serrano, 2015)

**Figura 10.3** Estructuración de los árboles de entrenador haartraining



```

BACKGROUND PROCESSING TIME: 0.05
Precalculation time: 0.00
  
```

| N | %SMP | ST.THR   | HR       | FA       | EXP. ERR |
|---|------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 100% | 0.958333 | 1.000000 | 0.943333 | 0.007500 |
| 2 | 95%  | 0.829423 | 1.000000 | 0.806667 | 0.005000 |

```

Stage training time: 49.75
Number of used features: 4
Parent node: 1
Chosen number of splits: 0
Total number of splits: 0
Tree Classifier
Stage
  
```

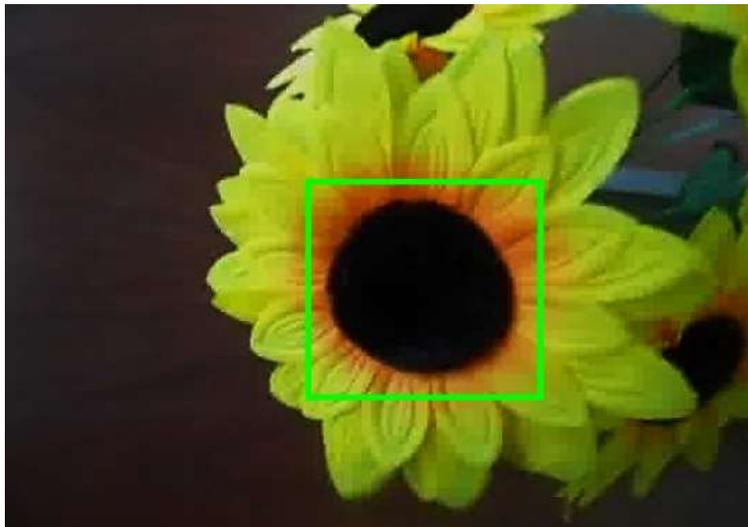
Una vez concluido el entrenamiento se crea una carpeta que contiene subcarpetas con el índice total de etapas que se usan para clasificar el entrenador, en el presente caso solo se necesitan 8 etapas de las 25 que se indexan en los parámetros.

El entrenador puede quedarse atorado en una cierta etapa y no completar el entrenamiento, esto se debe a que el programa encuentra incongruencias en la comparación de las muestras negativas con la muestras vectoriales, quedando encerrado en bucle infinito que lo detiene, por ello es necesario forzar el cierre del programa, y una vez terminado el entrenamiento con el número de etapas correspondientes se tiene que ejecutar un archivo que proporciona OpenCV llamado "Converte\_cascade.c" la ejecución del programa en Windows exige cargarlo desde una plataforma que soporte programación en C, invocarlo desde Linux es una opción más rápida y sencilla para realizar dicha tarea, solo tiene que direccionarle donde está la carpeta de nuestro entrenamiento, el programa ejecuta el algoritmo para crear un archivo ".xml", que es proporcional al producto final del entrenamiento generado.

Finalmente se obtiene el archivo de entrenamiento vertido en un clasificador de extensión ".xml" que hace referencia a archivos de tipo cascada.

Los resultados de detección no son tan buenos, ya que se usan pocas muestras positivas y negativas, pero el algoritmo logra detectar en tiempo real el centro de un girasol artificial con una tasa de fallo que pueden mejorarse con el aumento de las muestras. En la siguiente Figura se presencia el resultado de la fase de detección del objeto de prueba:

**Figura 10.4** Detección de objeto de prueba en tiempo real



#### 10.1.4 Entrenamiento haartraining de flores

Los pasos listados en el apartado anterior sirven como punto de partida para realizar el entrenamiento deseado, en el presente proyecto se propone dotar al dron de visión artificial para poder detectar flores en tiempo real.

Como fase 1 del proyecto se ha ensamblado un ambiente artificial para poder operar al dron dentro de un campo de prueba, que permita calibrar los errores y realizar los ajustes necesarios, en la siguiente Figura se puede apreciar una vista detallada de la maqueta:

**Figura 10.5** Ambiente artificial para pruebas

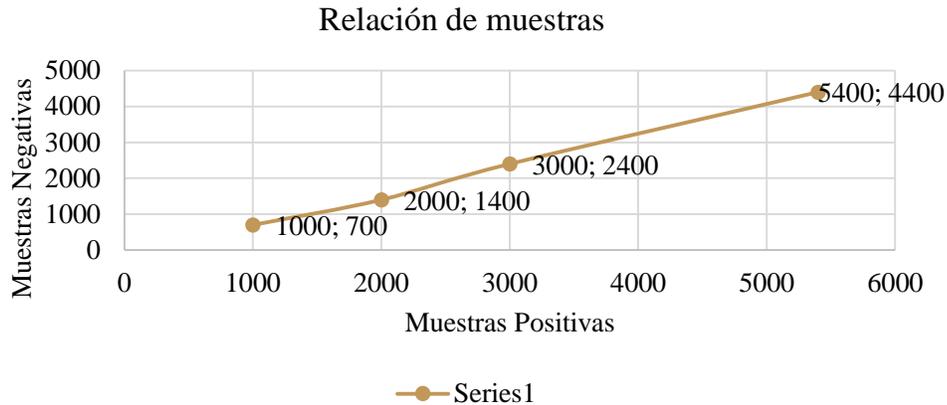
Este ambiente artificial, sirve como punto de partida, para poder simular las condiciones de un invernadero, lugar donde se pretende poner a prueba el dron. Se realizan 4 entrenamientos haartraining tomando diferente número de muestras positivas y negativas, en la siguiente tabla se observan los resultados.

**Tabla 10** Datos obtenidos de entrenamientos realizados

| Entrenamiento | Muestras Positivas | Muestras Negativas | Numero de Etapas | Arboles creados |
|---------------|--------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| 1             | 1000               | 700                | 20               | 14              |
| 2             | 2000               | 1400               | 20               | 18              |
| 3             | 3000               | 2400               | 20               | 19              |
| 4             | 5400               | 4400               | 25               | 18              |

Como se observa el número muestras positivas es mayor al número de muestras negativas, al momento de ejecutar el entrenador se obtienen errores que bloquean el programa, enviando en la consola un código de error que hace referencia a la falta de muestras positivas (Navarro, 2004), tras varios intentos se detecta que la relación de muestras positivas y negativas obedece una reciprocidad, que influye como error del algoritmo Haar, en el siguiente gráfico se puede observar la respuesta de la correlación.

**Gráfico 10** Gráfico representativo de la correlación de muestras positivas y negativas, para un eficiente entrenamiento



Fuente: (Serrano, 2015)

Si se realizan los cálculos pertinentes el gráfico muestra que entre mayor sean las muestras positivas mayor deben ser el número de muestras negativas y también con el aumento de muestras positivas se debe aumentar el número de etapas del entrenamiento, para ello se establece el siguiente argumento, obtenido a partir de métodos gráficos y experimentales:

"La cantidad de muestras negativas deben de ser del 70%-80% de las muestras positivas usadas en el archivo .vec creado"

Esta relación puede observarse en el gráfico de arriba, ya que el eje de las abscisas influye un aumento poco abrupto en el eje de las ordenadas de manera lineal, cambiando la pendiente de las tres rectas consecutivas, que representan la relación.

Otra forma puede ser valiéndose del gráfico (ver Gráfico 10) para calcular el número de muestras negativas, dibujando una línea perpendicular a la variable que se desea conocer.

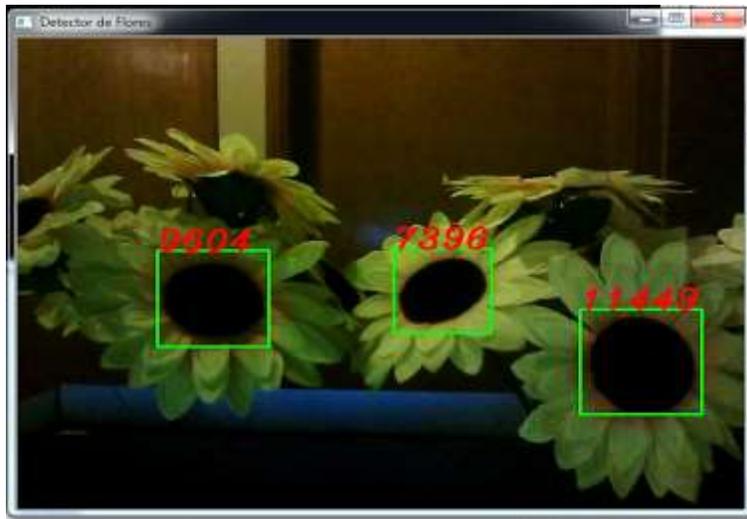
Obedeciendo esto, se tiene éxito en la ejecución del entrenamiento y evita que el programa haartarinig envíe un código de error perteneciente a que las muestras positivas sean insuficientes.

Es importante que cuando se ejecute el entrenador haartraining, la opción de -nonsym se cargue dentro del comando, ya que esto indica que las imágenes vectoriales del entrenador no son simétricas, cuando esta simetría no se especifica, el entrenador toma las muestras vectoriales como imágenes simétricas, por lo tanto solo toma en cuenta la mitad de la imagen para analizar y duplicar el resultado, en el presente caso al no ser simétricas afecta de manera considerable el entrenamiento, aunque también requiere muchos más recursos del sistema. (Asenjo & Cabeza Laguna, 2011).

Finalmente, al cargar el archivo ".xml" obtenido se puede apreciar cómo, conforme se van aumentando el número de muestras la clasificación mejora redituablemente.

En la siguiente Figura se puede apreciar la detección de flores en tiempo real del último entrenamiento realizado en el laboratorio.

**Figura 10.6** Prueba de detección de flores en tiempo real



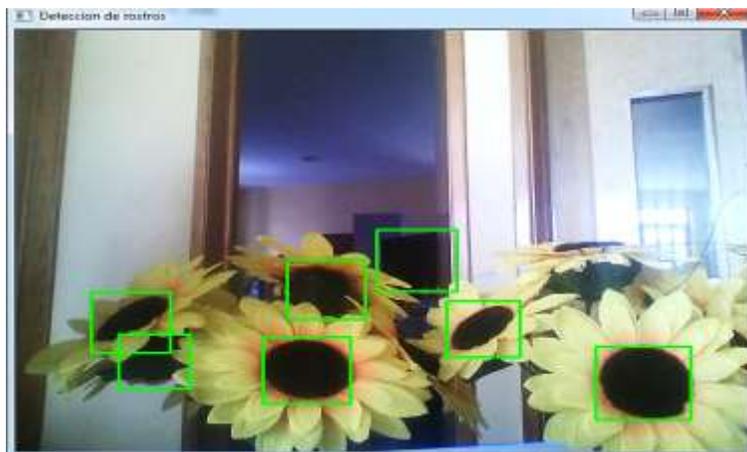
### 10.1.5 Mejoramiento de detección de objetos

#### 10.1.5.1 Falsos positivos

En tabla 10 se puede observar que se crean 4 clasificadores, estos clasificadores mejoran su respuesta en función del aumento de las muestras, pero la razón importante por el aumento de las muestras, es por la detección de cosas que no pertenecen al catálogo de objetos del archivo ".vec" y también por la falla de detección de objetos que supuestamente el programa debe detectar.

Cuando un objeto que es detectado no debe de ser reconocido por el clasificador se le nombran *falsos positivos*, errores de detección provocados por el clasificador, como se puede apreciar en la siguiente Figura:

**Figura 10.7** El clasificador detecta objetos fuera del catálogo de muestras, como los tallos de las flores y partes del fondo



Como se explica en la imagen, el clasificador detecta objetos que no forman parte de las muestras positivas, por lo tanto estos errores son *falso positivos*, para pulir dichos errores es necesario ampliar el catálogo de muestras negativas colocando imágenes de estos objetos indeseables, con ello, el clasificador mejora redituablemente la detección.

### 10.1.5.2 Falsos negativos.

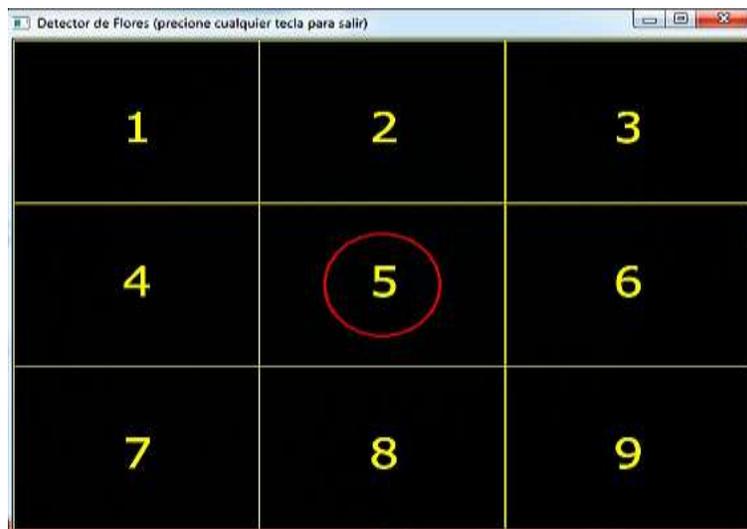
En el caso contrario cuando el clasificador no logra detectar un objeto que forma parte de las muestras positivas del archivo ".vec", estos se nombran *falsos negativos* ya que los objetos que supuestamente deben ser detectados por el clasificador, son tomadas como imágenes negativas. Para contrarrestar esta carencia en el clasificador, es necesario aumentar el número de muestras positivas, para crear un catálogo más grande y mejorar la calidad de detección de los objetos positivos.

### 10.1.6 Algoritmo de detección de flores en C++

Con el diseño de un buen clasificador se obtiene como producto final un archivo ".xml" que contiene los índices necesarios del algoritmo Haar para la detección del objeto. Con ello se procede a diseñar una interfaz en C++ que permita la detección del objeto y poder enviar los comandos necesarios de la posición del objeto para ser enviados al dron.

Para ello lo primero que se implementa es cuadricular la pantalla en 9 cuadrantes:

**Figura 10.8** Distribución de los cuadrantes de operación



A partir de ello se tienen 9 cuadrantes donde puede estar el objeto que se examina (en la imagen anterior se enumeraron la lógica de los cuadrantes donde el programa realiza la distribución).

Lo siguiente es detectar el cuadrante donde se encuentra dicho objeto y además cual flor es mejor candidato para extraer la muestra de polen, en una ramo de flores puede haber más de una flor, por lo tanto el programa no solo detecta el cuadrante donde está la flor sino también el área del rectángulo de detección más grande para determinar cuál objeto está más cerca, y con ello, el dron en base a esta información pueda tomar decisiones y ajustar el vuelo para guiar al objeto en el centro del círculo rojo, preparándolo de esta manera, para poder tomar la muestra de polen con el utensilio de extracción.

Finalmente, la visión artificial del dron está dotada, con un complejo algoritmo computacional, que da como resultado la siguiente respuesta visual:

**Figura 10.9** Detección de flores en tiempo real



Como se puede apreciar en la imagen anterior, el programa detecta las flores que cumplen con las características de muestras positivas del clasificador ".xml" (en el presente caso detectaron tres objetos) calcula el área de los rectángulos que los delimitan mostrándolo en letras azules, y evalúa cuál es el objeto con mayor área siendo este el más cercano. Cuando el programa sabe cuál es el más grande, pinta de rojo el objeto detectado, procede a dibujar una línea que permite al usuario ver la distancia del centro con respecto al objeto y finalmente muestra en pantalla el cuadrante donde se encuentra el objeto.

## 10.2 Interfaz Gráfica

La plataforma diseñada en C++, cumple como propósito principal depurar las librerías de OpenCV para realizar el procesamiento de imagen y obtener como resultado, la visión artificial para el dron. Para la comunicación directa con el Dron, se ha implementado un sistema de conexión USB, para mandar la salida de las señales equivalentes a los comandos con los que opera el dron.

En primera instancia, la interfaz gráfica es diseñada y programada en Visual Basic 2012, la función principal que se pretende con la implementación de la interfaz gráfica es:

- Anexar un módulo que permite el envío de comandos por vía USB por interfaz HID (*Human Interface Device*), o su traducción directa *Dispositivos de Interfaz Humana*, que son todos aquellos dispositivos que generan una interfaz directa con los seres humanos.
- Proveer al usuario una interfaz gráfica amigable con la cual pueda interactuar de forma sencilla sin la necesidad de adentrarse en la programación.
- Proporcionar una consola que permita operar el dron y tener un status visual y dinámico de su estado.
- Generará un archivo ejecutable que instale toda la paquetería necesaria de forma sencilla.

### 10.2.1 Intercomunicación de C++ con Visual Basic

Existen muchos métodos y formas para comunicar diferentes lenguajes de programación, Visual Basic se encuentra en un nivel alto de programación usando un enfoque orientado a objetos para su lógica de declaración, mientras que C++ se encuentra en un nivel medio, empleando programación estructurada para el diseño de sus algoritmos.

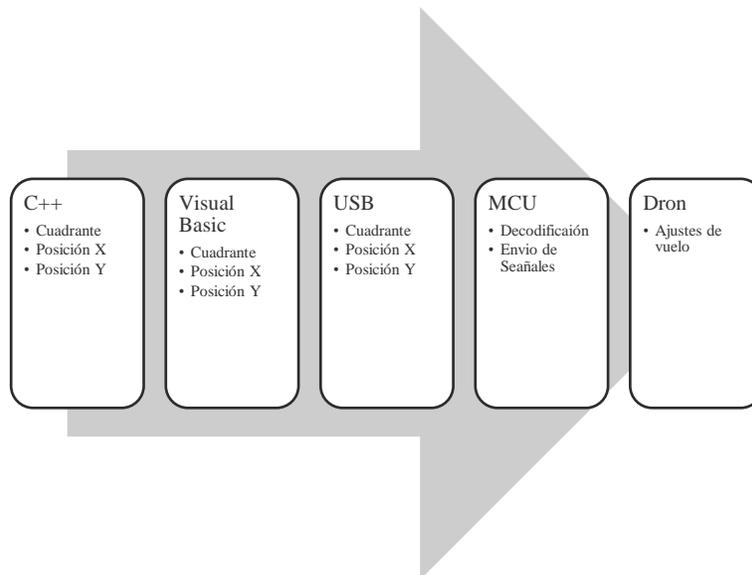
Como Visual y C++ con dos plataformas de comunicación completamente distintas, se tiene que indagar sobre los métodos de importación de datos de un programa a otro.

Al ejecutar la visión artificial de C++, y permitiendo que el compilador realice todas las rutinas programadas, como resultado final de todos los algoritmos obtienen tres variables de suma importancia:

1. El número de cuadrante donde se detectó el objeto más grande.
2. La posición "X" del objeto.
3. La posición "Y" del objeto.

Esas tres variables, son la información necesaria que el dron necesita para realizar los ajustes competentes del vuelo, por ello es necesario hacerle llegar la información a la interfaz de Visual Basic, para que a su vez Basic, envíe los datos por medio del USB hasta un microcontrolador que decodifique los comandos y puedan ser enviados al dron, en el siguiente diagrama se aprecia mejor el flujo de información.:

**Figura 10.10** Flujo de información de las variables de ajuste de vuelo



### 10.3 Resultados Finales. Interfaz gráfica de usuario (GUI)

Finalmente, en la siguiente imagen se puede apreciar la interfaz gráfica diseñada, misma plataforma es el medio donde el operador interactúa con el software y hardware de todo el sistema esbozado, y poder operar de una forma fácil y dinámica el dron polinizador:

**Figura 10.11** Consola de Principal, interfaz gráfica final diseñada en Visual Studio 2012



Como se puede observar la interfaz gráfica es una consola simple con recuadros de status para monitorear los cambios efectuados durante la depuración del programa, dos botones de operación y un contenedor para visualizar el video obtenido de la fuente de videograbación.

La interfaz gráfica es un software sencillo y dinámico, cuenta con un botón para empezar el proceso de reconocimiento de visión artificial, al igual que el botón para terminar el proceso de reconocimiento, el cuadro de detección ubica el cuadrante donde ha sido detectado el centro de la flor, como se mencionó anteriormente la plataforma cuenta con 9 cuadrantes de detección. Finalmente se pueden apreciar dos ventanas de Status, donde en la primera ventana en un objeto “ListBox” se revisa la escritura de los ficheros con los índices de detección, y el segundo recuadro checa que la conexión del sistema hardware embebido vía USB sea exitosa, el cual será el medio para el envío de información de manera remota con las instrucciones del vuelo del DRON.

#### 10.4 Conclusiones

La viabilidad del clasificador obtenido para la detección del cultivo de prueba supera las expectativas esperadas, el proyecto debe encaminarse en pruebas de campo para la recolección de muestras positivas y negativas de cultivos reales. Los contextos de estudio del clasificador obtenidos son ejecutados en condiciones óptimas, ya que los entornos de las pruebas realizadas tienen por ejemplo la cantidad de luz requerida, una clara pigmentación en las flores, anulación de factores externos en la lente de la cámara, el hábitat de estudio sin agentes terceros, etc. En esta primera fase de estudios los resultados fueron satisfactorios, se obtuvo una detección aceptable con pocos falsos positivos, permitiendo comprobar el principio de funcionamiento del sistema y poder argumentar, que, con mayor tiempo e inversión en esta investigación, en un futuro próximo, no cabe duda que será posible crear un DRON polinizador de cultivos, volviéndose una herramienta activa del sector de agricultura.

Cabe mencionar que el presente proyecto no viene a sustituir a los polinizadores, ni tampoco coadyuvar como alternativa para la extinción de las especies naturales, el lazo entre hombre naturaleza es una correspondencia biunívoca que pende de un hilo muy delicado entre una simbiosis que garantice el equilibrio del ecosistema, la discusión de la dicotomía entre tecnología y preservación, es un argumento ético que se debe hacerse valido, y no buscar que la era tecnológica arrase con los principios éticos y morales, que en vez de llevarnos a la prosperidad de la humanidad, sean partícipes de nuestra propia destrucción.

## 10.5 Referencias

Asenjo, R. S., & Cabeza Laguna, R. (31 de Enero de 2011). *EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE DETECTORES DE*. Obtenido de <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/3143/0000577399.pdf?sequence=1>

Comunidad de Programadores de Software Libre del Ecuador. (8 de Abril de 2010). *Blog de Palichis*. Obtenido de Entrenar opencv : <http://coplec.org/?q=2010%2F08%2F05%2Fentrenar-opencv>  
Copyright. (23 de Diciembre de 2016). *OpenCV team* . Obtenido de <http://opencv.org/about.html>

Durand, B. G. (26 de Enero de 2015). *El Universal*. Obtenido de <http://archivo.eluniversal.com.mx/ciencia/2015/mexico-cultivos-polinizadores-100570.html>

ELECTRONICS AND ELECTRICAL ENGINEERING . (29 de Junio de 2011). *SYSTEM ENGINEERING, COMPUTER TECHNOLOGY*. Obtenido de [http://www.ee.ktu.lt/journal/2011/10/18\\_ISSN\\_1392-1215\\_Inspection%20System%20based%20on%20Computer%20Vision.pdf](http://www.ee.ktu.lt/journal/2011/10/18_ISSN_1392-1215_Inspection%20System%20based%20on%20Computer%20Vision.pdf)

IOSR Journal of Computer Engineering. (Mayo-Junio de 2014). *Traffic Event Detection using Computer Vision*. Obtenido de [Www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org): <http://www.iosrjournals.org/iosr-jce/papers/Vol16-issue3/Version-2/F016322532.pdf>

Navarro, R. U. (Julio de 2004). *Aplicación de técnicas de Boosting*. Obtenido de [http://www.gpiv.upv.es/publications/pdf/pfc\\_raquel.pdf](http://www.gpiv.upv.es/publications/pdf/pfc_raquel.pdf)

Rezaei, M. (2011). [www.MahdiRezaei.com](http://www.MahdiRezaei.com). Obtenido de [https://www.cs.auckland.ac.nz/~m.rezaei/Tutorials/Creating\\_a\\_Cascade\\_of\\_Haar-Like\\_Classifiers\\_Step\\_by\\_Step.pdf](https://www.cs.auckland.ac.nz/~m.rezaei/Tutorials/Creating_a_Cascade_of_Haar-Like_Classifiers_Step_by_Step.pdf)

Serrano, L. T. (2015). *DISEÑO DE DRON POLINIZADOR DE CULTIVOS. DETECCIÓN DE CULTIVOS CON VISIÓN ARTIFICIAL*. Ixtapaluca, Estado de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca.

**Apéndice A. Consejo Editor ECORFAN**

ANGELES-CASTRO, Gerardo. PhD  
Instituto Politécnico Nacional, México

MANRIQUEZ-CAMPOS, Irma. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México, México

PERALTA-FERRIZ, Cecilia. PhD  
Washington University, EUA

PALACIO, Juan. PhD  
University of St. Gallen, Suiza

DAVID-FELDMAN, German. PhD  
Johann Wolfgang Goethe Universität, Alemania

GUZMÁN-SALA, Andrés. PhD  
Université de Perpignan, Francia

VARGAS-HERNÁNDEZ, José. PhD  
Keele University, Inglaterra

AZIZ-POSWAL, Bilal. PhD  
University of the Punjab, Pakistan

VILLASANTE, Sebastian. PhD  
Royal Swedish Academy of Sciences, Suecia

PIRES-FERREIRA-MARÃO, José. PhD  
Federal University of Maranhão, Brasil

RAÚL-CHAPARRO, Germán. PhD  
Universidad Central, Colombia

QUINTANILLA-CÓNDOR, Cerapio. PhD  
Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

GARCÍA-ESPINOSA, Cecilia. PhD  
Universidad Península de Santa Elena, Ecuador

ALVAREZ-ECHEVERRÍA, Francisco. PhD  
University José Matías Delgado, El Salvador

GUZMÁN-HURTADO, Juan. PhD  
Universidad Real y Pontifica de San Francisco Xavier, Bolivia

NUÑEZ-SELLES, Alberto. PhD  
Universidad Evangelica Nacional, Republica Dominicana

ESCOBEDO-BONILLA, Cesar Marcial. PhD  
Universidad de Gante, Belgica

ARMADO-MATUTE, Arnaldo José. PhD  
Universidad de Carabobo, Venezuela

GALICIA-PALACIOS, Alexander. PhD  
Instituto Politécnico Nacional, México

NAVARRO-FRÓMETA, Enrique. PhD  
Instituto Azerbaidzhan de Petróleo y Química Azizbekov, Rusia

ALVAREZ-ECHEVERRÍA, Francisco. PhD  
University José Matías Delgado, El Salvador

BELTRÁN-MORALES, Luis Felipe. PhD  
Universidad de Concepción, Chile, Chile

TUTOR-SÁNCHEZ, Joaquín. PhD  
Universidad de la Habana, Cuba.

ARAUJO-BURGOS, Tania. PhD  
Universita Degli Studi Di Napoli Federico II, Italia

HIRA, Anil. PhD  
Simon Fraser University, Canada

MIRANDA-GARCÍA, Marta. PhD  
Universidad Complutense de Madrid, España

LUFUNDISU- BADENGO, Patrick. BsC  
Institut Superieur de Techniques Appliquee, Republica Democratica del Congo

DUARTE, Oscar Mauricio  
Higher Institute of Economics "Karl Marx" in Sofia, Bulgaria

OCAÑA, Ely. MsC  
Universidad de San Carlos de Guatemala, Republica de Guatemala

CANTEROS, Cristina. PhD  
Instituto Nacional de Enfermedades Ifecciosas-ANLIS "Dr. Carlos G. Malbrán", Argentina

NARVÁEZ-SOLÍS, Concepción. MsC  
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Republica de Nicaragua

ROJAS-BUSTAMANTE, Nataly. BsC  
Universidad de Medellín, Colombia

CANDIDO-GONZALES, Bogarin. BsC  
Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

GANDICA-DE ROA, Elizabeth. PhD  
Universidad Católica del Uruguay, Uruguay

BANERJEE, Bidisha. MsC  
Amity University, India

**Apéndice B. Comité Arbitral ECORFAN**

HERNANDEZ-MARTÍNEZ, Rufina PhD  
University of California, EUA

DE AZEVEDO-JUNIOR, Wladimir Colman. PhD  
Federal University of Mato Grosso, Brasil

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD.  
Universidad Centroamericana, Nicaragua

MARTINEZ-BRAVO, Oscar Mario. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica-UNAM

GONZALEZ-TORRIVILLA, Cesar Castor. PhD  
Universidad Central de Venezuela Venezuela

TUTOR-SÁNCHEZ, Joaquín. PhD  
Universidad de la Habana

YAN-TSAI, Jeng. PhD  
Tampkang University, Taiwan.

POSADA-GOMEZ, Rubén. PhD  
Institut National Polytechnique de la Lorraine, Francia

SOTERO-SOLIS, Victor Erasmo. PhD  
Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Perú

GONZÁLEZ-IBARRA, Miguel Rodrigo. PhD  
Universidad Nacional Autónoma de México, México

MONTERO-PANTOJA, Carlos. PhD  
Universidad de Valladolid, España

RAMIREZ-MARTINEZ, Ivonne. PhD  
Universidad Andina Simón Bolívar, Bolivia

ARAUJO-BURGOS, Tania. PhD  
Università Degli Studi Di Napoli Federico II, Italia

ALVAREZ-ECHEVERRÍA, Francisco. PhD  
Universidad José Matías Delgado, El Salvador

SORIA-FREIRE, Vladimir. PhD  
Universidad de Guayaquil, Ecuador

