

Francisco Pérez Soto | Rosa María García Núñez
Esther Figueroa Hernández | Lucila Godínez Montoya
(Coordinadores)



Sustentabilidad Socioeconómica y Ambiental en México

Sustentabilidad Socioeconómica y Ambiental en México

En la actualidad existe un creciente interés por la instrumentación, adopción y desarrollo de modelos de producción que incorporen el concepto de sustentabilidad; entendiendo a este como la habilidad de un sistema para mantener la productividad aun cuando sea sometido a perturbaciones. Ejemplo, la producción de maíz es de las mayores dentro de todos los cultivos a nivel mundial, ocupa el 62% y se estima que da empleo a por lo menos tres millones de agricultores, y que entre 15 y 18 millones de personas dependen en México de este cultivo.

El consumo nacional aparente de México fue de 30.8 millones de toneladas hace cinco años, de las cuales, 21 millones de toneladas fueron de maíz blanco y 10 de amarillo. A pesar de que la producción del mismo ha aumentado en 50% desde 1994, dicha producción promedio 23 millones de toneladas en el periodo 2000-2015. La dependencia por importaciones se ubicó en 34% para ese mismo periodo; en estados como Puebla se consumen 1.74 millones de toneladas de maíz de las cuales 1.24 millones son maíz blanco y 0.49 millones de toneladas de maíz amarillo. Asimismo, Puebla aporta una oferta de 1.08 millones de toneladas, representando el 4.6% de la producción nacional anual. Datos recientes indican que en ese estado, de un total de un millón de hectáreas dedicadas a la agricultura, 60% se siembran con maíz en condiciones de temporal.

Sustentabilidad Socioeconómica y Ambiental en México

*Francisco Pérez Soto
Rosa María García Núñez
Esther Figueroa Hernández
Lucila Godínez Montoya
(Editores)*

SUSTENTABILIDAD SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL EN MÉXICO



ASOCIACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA A.C.

ÍNDICE

Sustentabilidad Socioeconómica y Ambiental en México

Primera edición en español 2019

ISBN: 978-607-98589-5-7

D.R. © Asociación Mexicana de Investigación Interdisciplinaria A.C. (ASMIIA, A.C.)

Editado en México

D.R. © Ilustraciones de portada: John Cossío Cossío

Para la reproducción total o parcial de esta publicación, por cualquier medio, requiere la autorización por escrito del autor de la ASMIIA, A.C.

Capítulo I EL HUERTO FAMILIAR COMO OPCIÓN DE LA SOBERANÍA ALIMENTARIA EN LA SIERRA ALTA DE HIDALGO <i>Sergio Cruz Hernández; Gerardo Noriega Altamirano; Liberio Victorino Ramírez; Guillermo Arturo Torres Carral</i>	9
Capítulo II EL SILICIO AFECTA LA ABSORCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS EN PLANTAS DE ARROZ SOMETIDAS A ESTRÉS OSMÓTICO <i>Sara Monzerrat Ramírez Olvera; Fernando Carlos Gómez Merino; Libia Iris Trejo Tellez</i>	25
Capítulo III INFLUENCIA DEL ÁCIDO ABCSÍCO Y DEL PINOLENE EN LA MORTANDAD DE PLÁNTULAS Y CONTENIDO DE ALMIDÓN EN EL CULTIVO DE FRESA (CV. <i>primoris</i>) <i>Héctor Manuel Rodríguez Morán; Rafael Delgado Martínez; Wilberth Alfredo Poot Poot; Ma. Teresa de Jesús Segura Martínez</i>	37
Capítulo IV ESTUDIO DE INTERCEPCIÓN DE LLUVIA EN BOSQUES DE OYAMEL (<i>Abies religiosa</i> (Kunt) Schltdl. & Cham.) <i>Eulogio Flores Ayala; Ramiro Pérez Miranda; Fernando Carrillo Anzures; Enrique Buendía Rodríguez</i>	53

<p>Capítulo V LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA AFECTAN GERMINACIÓN Y ACUMULACIÓN DE BIOMASA EN ARROZ <i>Robert Vilchis Zimuta; Fernando Carlos Gómez Merino; Sara Monzerrat Ramírez Olvera; Libia Iris Trejo Téllez</i></p>	65
<p>Capítulo VI MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS MEDICINALES EN SANTA CATARINA DEL MONTE, MÉXICO <i>Ameyali Hernández Hernández; Felipe Reyes Fuentes</i></p>	81
<p>Capítulo VII META-ANÁLISIS DE CAPTURA DE CARBONO ATMOSFÉRICO EN MÉXICO A TRAVÉS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN <i>Rosa María García Núñez; Nidia Sarahí Reséndiz Flores; Francisco Torres Cruz</i></p>	98
<p>Capítulo VIII PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE DESECHOS AGROPECUARIOS Y MATERIA ORGÁNICA <i>Alejandra Sánchez García; Bernardino Sánchez Díaz; Sergio Trujillo Diosdado; Gerardo Prado Sánchez</i></p>	119
<p>Capítulo IX PRODUCCIÓN Y COSECHA DE LA GOMA DE HUIZACHE (<i>Acacia farnesiana</i>) EN EL EJIDO NAICA, SAUCILLO, CHIHUAHUA <i>José Eduardo Magaña Magaña; María Guadalupe Campos Franco; Christian Mauricio Kiessling Davison; María de los Angeles Romero Lara</i></p>	134
<p>Capítulo X SUSTENTABILIDAD SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCION DE MAÍZ DE TIPO MONOCULTIVO <i>Francisco Torres Cruz; Rosa García Núñez; Nidia Reséndiz Flores</i></p>	147

Presentación

En este libro se abordan temas como los siguientes: *El huerto familiar como opción de la soberanía alimentaria...* El objetivo de este trabajo es la caracterización y el uso de las especies en los huertos del municipio de Tlanchinol, del estado de Hidalgo. Se utilizaron técnicas de análisis comparativo y estadística descriptiva para distinguir las especies, se aplicaron técnicas de recolección de información en las Unidades de Producción Rural (UPR); se encontraron 45 especies vegetales con diferentes usos y fines.

El silicio afecta la absorción de macronutrientos en plantas de arroz sometidas a estrés osmótico. El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de Si en la absorción de macronutrientos en plantas de arroz bajo estrés osmótico. Las plantas se sometieron a estrés osmótico con la adición de PEG 8000 al 10% y se trataron con 1 y 2 mM de Si. La adición de Si modifica la absorción de macronutrientos bajo condiciones de estrés osmótico.

Influencia del ácido abscísico y del pinolene en la mortandad de plántulas y contenido de almidón en el cultivo de fresa. La acumulación y movilización de los carbohidratos son importantes en las plantas y hay una relación directa al rendimiento y calidad de la producción. Por lo que se planteó el estudio de tres concentraciones de ABA exógeno (45, 90 y 13545 μmol.L) y un antitranspirante. Los parámetros productivos fueron más altos en las plantas tratadas con el tratamiento ABA45

Estudio de intercepción de lluvia en bosques de oyamel. Se realizaron mediciones de precipitación, determinándose cantidades de precipitación total y su distribución en ese periodo de lluvia. Para las mediciones de precipitación total, se emplearon pluviómetros ubicados fuera de cada parcela. Para las mediciones de intercepción, se utilizaron pluviómetros distribuidos aleatoriamente. Las cantidades de lluvia interceptada se expresaron en porcentaje. Adicionalmente, se generó un modelo estadístico no lineal de la relación: precipitación total (mm) - lluvia interceptada (%).

Las nanopartículas de plata afectan germinación y acumulación de biomasa en arroz. En esta investigación se aplicaron 0, 40, 80 y 120 mg L⁻¹ AgNPs a semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) cv. Morelos A-98; benomilo al 2%; y NaClO al 5%; y testigo agua destilada. 80 y 120 mg L⁻¹ AgNPs en crecimiento inicial del vástago fue superior en 40.47 y 38.72%, respectivamente. La

altura de planta disminuye en un 12.21 y 8.86 % para 20 y 40 mg L⁻¹ AgNPs respectivamente, y en un 16.11 % con 80 mg L⁻¹ de AgNPs. El efecto en longitud de raíz fue más notable disminuyendo un 27.86 y 26.99 % para 20 y 40 mg L⁻¹ AgNPs y en un 38.86 % a 80 mg L⁻¹ de AgNPs.

Manejo sustentable de los recursos fitogenéticos medicinales en santa Catarina del Monte, México. El objetivo de esta investigación es generar una estrategia de manejo sustentable a través del establecimiento de una Farmacia Viviente en la que se produzcan plantas medicinales. La metodología aplicada se construyó a través de técnicas participativas, cuyas fases fueron: a) identificación de las causas de morbilidad y mortalidad, b) identificación de los recursos fitogenéticos medicinales locales para el tratamiento de las enfermedades y, c) establecimiento de la Farmacia.

Meta-análisis de captura de carbono atmosférico en México a través de agricultura de conservación. Con el objetivo de conocer la factibilidad del cumplimiento de los compromisos en el Protocolo de Kioto cuya meta es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y limitar el aumento de la temperatura global, con base en el potencial que tiene la agricultura de conservación. Se encontró que las técnicas de esa agricultura pueden promover la fijación de hasta 1.6 Gg de C año⁻¹ en el suelo, con coeficientes de fijación de carbono de 0.41 y 0.58 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para Siembra Directa y Labranza Mínima promisorios para la adopción de agricultura de conservación.

Producción de biofertilizante a partir de desechos agropecuarios y materia orgánica. Se elaboraron tres tipos de biofertilizantes a base de excretas de vaca, para evaluar su eficacia en el crecimiento de hortalizas. Para determinar las propiedades de cada concentrado, se determinó el pH, la Conductividad Eléctrica, el Nitrógeno, el Fósforo, el Potasio, contenido de Hierro, acidez, alcalinidad y Sólidos Disueltos. Se aplicaron 100 ml de cada fertilizante para realizar una evaluación del tamaño de las raíces, la altura de las plantas y el tiempo de germinación. El biofertilizante mineral presentó menor tiempo de germinación y mayor tasa de crecimiento en plántula y raíces.

Producción y cosecha de la goma de huizache (acacia farnesiana) en el Ejido Naica, Saucillo, Chihuahua. El huizache se puede aprovechar para producir goma como sustituto de la goma arábiga. Para desarrollar este estudio de caso, se localizaron individuos de huizache, seleccionando árboles de diferentes proporciones, para realizar el muestreo de cada área, se realizó un diseño experimental de bloques.

Sustentabilidad socioeconómica y ambiental de la producción de maíz de tipo monocultivo. El objetivo de este trabajo fue evaluar la sustentabilidad socioeconómica y ambiental del sistema de producción monocultivo de maíz en la unidad de producción agrícola de Sacanco. La cuantificación de la sustentabilidad se utilizó con la metodología MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad).

Francisco Pérez Soto

Capítulo I

EL HUERTO FAMILIAR COMO OPCIÓN DE LA SOBERANÍA ALIMENTARIA EN LA SIERRA ALTA DE HIDALGO

Sergio Cruz Hernández¹; Gerardo Noriega Altamirano¹; Liberio Victorino Ramírez¹; Guillermo Arturo Torres Carral¹

¹ Universidad Autónoma Chapingo, km. 38.5 Carr. México-Texcoco C.P. 56230, tel (01595)95-215-00 ext. 5495. Chapingo, Estado de México. mails: sergiocruzhdz@gmail.com; gerardonoriega@gmail.com; victorino-ramrezliberio@yahoo.com.mx; gatocarr@hotmail.com.

RESUMEN

Los huertos familiares son espacios en que las familias campesinas albergan especies vegetales y animales, llegando a funcionar como fuente alimenticia y de ingresos, con diferente valor de uso y de cambio. En la región Sierra Alta de Hidalgo, los huertos familiares se han preservado a lo largo del tiempo, en donde la mujer campesina juega un rol fundamental; el objetivo central de este trabajo es la caracterización y el uso de las especies en los huertos del municipio de Tlanchinol, del estado de Hidalgo, se trabajó en tres comunidades: Apantlazol, Olotla y, Huitepec. Se utilizaron técnicas de análisis comparativo y estadística descriptiva para distinguir las especies, se emplearon 47 cuestionarios, los cuales se destinaron mediante un muestreo aleatorio simple, se aplicaron técnicas de recolección de información en las Unidades de Producción Rural (UPR); se encontraron 45 especies vegetales con diferentes usos y fines. Ante los altos índices de pobreza y desigualdad, con un elevado incremento de la riqueza de unos cuantos, así como el deterioro progresivo en los diferentes ecosistemas, la sociedad, debe de hacer un frente común para el debate de tales problemas y, los solares son determinantes para la subsistencia familiar campesina.

Palabras Clave: Traspatio, Seguridad Alimentaria, Sierra Alta de Hidalgo

ABSTRACT

Home gardens are the most important areas that peasant families use as mechanisms to guarantee vegetables and animals species. It can represent an alternative of nourishment or incomes, these commodities have different attributes as a use value or an exchange value. The Home gardens in The Sierra Alta de Hidalgo, Mexico, home gardens are an ancient tradition, in it have been very important the work of peasant woman. The objective of this investigation is to find the use of vegetables species in the home gardens of municipality of Tlachinol, Hidalgo State, in three communities: Apantlazol, Olotla and Huitepec. The information was obtained by surveys to 47 rural production units (UPR) by simple random sampling. Its data was analyzed through comparative analysis and descriptive statistics. The results 45 vegetables species with different uses. Given the high rates of poverty and inequality, with a high increase in the wealth of a few, as well as the progressive deterioration in the different ecosystems, society must make a common front for the debate of such problems and home gardens are determinants for peasant family subsistence.

Key words: backyard, food safety, Sierra Alta de Hidalgo

INTRODUCCIÓN

Los huertos familiares o solares de traspatio, son espacios de las familias campesinas donde albergan diferentes especies vegetales y animales, llegando a funcionar como fuente de ingresos con valor de uso y de cambio; y la seguridad alimentaria cada día cobra mayor importancia en las diferentes agendas de país, con diferentes mecanismos de respuestas y de atención, es así como en México una vía de acción es a través de los Objetivos de la Agenda 2030, la cual busca disminuir la pobreza alimentaria del país.

El medio rural en México enfrenta la degradación ambiental, ocasionada por la deforestación, la producción agrícola y pecuaria, la sobre explotación de los recursos naturales, con diferentes impactos negativos, como la erosión del suelo, desertificación, contaminación de mantos acuíferos, emisión de Gases de Efecto Invernadero, entre otros. En la región Sierra Alta de Hidalgo, los huertos familiares se han preservado a lo largo del tiempo, en la propia historia de las comunidades; por lo anterior, el objetivo central de este trabajo es la caracterización y el uso de las especies en los huertos del municipio de Tlachinol, del estado de Hidalgo, México.

La importancia del huerto familiar, en la obtención de diferentes recursos para

la familia, como alimentos, dinero, cuidado de su salud, estos sistemas de producción agrícola, son parte de una estrategia social para tratar de alcanzar la seguridad alimentaria nacional, regional y local, es así como están cobrando mayor relevancia. La cuestión de soberanía alimentaria nacional, es un paradigma que se ha convertido en el nuevo marco de la política pública, para cuestionar las tendencias del desarrollo rural, así como las políticas alimentarias y agrícolas que no respaldan las necesidades de los pequeños productores agrícolas del país, en este caso, los de la Sierra Alta de Hidalgo.

La mujer y los niños en este modo de producción campesina, juegan un papel fundamental, y las responsabilidades, ingresos, conocimientos y la toma de decisiones, la realizan los adultos o los responsables de las UPR's, reforzando la división jerárquica de la posición que ocupan hombres y mujeres en las comunidades.

En esta investigación, al Huerto Familiar se le dio el mismo enfoque de agroecosistema, como lo definió Hernández (1977), un sistema modificado en menor o mayor grado por el hombre para la utilización de los recursos naturales en los procesos de producción agrícola. En este sistema de producción se aplica también el concepto de milpa, como una orientación agrícola tradicional; es así como Lazcarro (2013) señala que la milpa no se reduce a un sistema cualquiera, implica la articulación propia entre varios cultivos, depende del medio ambiente, de las culturas locales y del gusto culinario, y se ha desarrollado durante años, tal es el caso del cultivo del café. En este mismo ámbito podemos citar lo que Bartra (2009) menciona “la reivindicación de la milpa –la defensa de la producción campesina de maíz, frijol y otros alimentos básicos- es una lucha contra el hambre y el éxodo, un combate por la soberanía alimentaria” (Bartra, 2009:44); entonces, la milpa es un agroecosistema que incluye diferentes cultivos y así citamos lo que Montaldo (1982) señala, que el hombre es quien origina el sistema por su acción en el ecosistema natural, teniendo como objetivo la utilización del medio en forma sostenida para obtener productos agropecuarios como el café, plátano, guanaba, entre otros.

METODOLOGÍA

El ámbito de esta investigación es la agricultura campesina familiar de la región de la Sierra Alta de Hidalgo, abordando una de las aristas de la capacidad de las familias campesinas de generar conocimiento y tecnologías agrícolas apropiadas, precisando algunas de sus principales características como los huertos familiares; se busca la sistematización de los cambios relevantes de la generación de tecnologías agrícolas en los solares, buscando la seguridad alimentaria.

El estado de Hidalgo cuenta con una extensión para uso agrícola de 621,394 ha, que corresponde al 28% de la superficie estatal. La región Sierra Alta se integra por siete municipios: (1) Calnali; (2) Lolotla; (3) Molango de Escamilla; (4) Tepehuacán de Guerrero; (5) Tianguistengo; (6) Tlanchinol; (7) y Xochicoatlán. Este territorio ocupa el 9.37% del territorio estatal (INEGI, 2010).

Para fines de esta investigación, se trabajó en el municipio de Tlanchinol, en tres comunidades diferentes: Apantlazol, Olotla y Huitepec. Se utilizaron técnicas de análisis comparativo y estadística descriptiva para distinguir los tipos de agricultura y de agricultores, precisando sus principales características. Se emplearon 47 cuestionarios, los cuales se aplicaron mediante un muestreo aleatorio simple.

El enfoque Etnográfico se apoya en la ideología de las tradiciones, roles, valores y normas del ambiente en que se vive (como la Guelaguetza o el tequio); se van internalizando y generando regularidades que pueden explicar la conducta individual y de grupo en las comunidades. En efecto, los miembros de un grupo étnico comparten una estructura lógica o de razonamiento que, en ocasiones, no es explícita, pero que se manifiesta en diferentes aspectos de su vida. El objetivo de un estudio etnográfico es crear una imagen realista del grupo, su intención es contribuir en la comprensión de sectores o grupos poblacionales más amplios que tienen características similares, como es el caso de los productores cafetaleros de México. Este enfoque trata de presentar episodios que son porciones de vida, documentados con un lenguaje natural y que representan lo más fielmente posible cómo siente la gente, qué sabe, cómo lo conoce y cuáles son sus creencias, percepciones y modos de ver y entender (Guba, 1978).

Para el trabajo de campo, se aplicaron técnicas de recolección de información en las Unidades de Producción Rural (UPR) o lo que SAGARPA señala como UER, haciendo uso de la investigación Etnográfica que nos ayude a describir la vida de los productores como núcleo de la agricultura familiar y al mismo se mantenga una relación directa establecida entre el investigador y su objeto de estudio. De tal manera que el enfoque metodológico cumpla las expectativas de un estudio mixto (Victorino, 2015), con análisis de datos de tipo cuantitativo y cualitativo.

RESULTADOS

En el 2014 se celebró el Año Internacional de la Agricultura Familiar decretado por la Asamblea General de la Naciones Unidas, en donde se reconoció el aporte de la agricultura campesina (incluido los huertos familiares) como elementos esenciales en la provisión de alimentos y fuente de ingresos de millones de campesinos; además

del mantenimiento de los espacios y culturas rurales, la gestión de la biodiversidad y la superación de la pobreza. El objetivo prioritario del AIAF 2014, fue fomentar las políticas activas en favor del desarrollo sostenible de los sistemas agrarios basados en la unidad familiar, proporcionar orientaciones para su puesta en práctica, potenciar el papel de las organizaciones agrarias y campesinas y sensibilizar al conjunto de la sociedad civil sobre la relevancia de apoyar la agricultura familiar.

La seguridad alimentaria implica la toma de conciencia individual y social, la acción comunitaria, así como de la reflexión en los elementos de producción e intercambio de alimentos, visualizando los mecanismos desleales y poco éticos de producción, comercialización y distribución de alimentos que se presentan con las grandes agroempresas transnacionales, que en ocasiones generan paquetes tecnológicos de producción agrícola, volviendo dependientes a los campesinos.

Se debe de enriquecer las prácticas tradicionales de manejo y obtención de recursos alimentarios, en sus casas las familias cuidan el cultivo, atienden sus plantas y animales, esto se enmarca en el diálogo cultural e intercambio de saberes ancestrales, a lo que se denomina formas de vida, además de que constituyen una alternativa viable para la defensa de la autonomía alimentaria, es así como los huertos familiares o solares son espacios de reivindicación social. Uno de los grandes retos que tenemos como sociedad es, lograr la adaptación de nuevas formas de producción y repartición de alimentos, en aras de una mejor salud para los más necesitados como seres humanos y, respetando a la naturaleza.

Al aplicar los cuestionarios en las tres localidades citadas en el municipio de Tlanchinol, se encontraron 45 especies diferentes en los huertos familiares, las cuales tiene diferentes usos, destacando que hay especies que tienen más de dos usos diferentes (medicinal, comestible, combustible, de ornato) con diferentes fines (autoconsumo, venta, intercambio), esta es una característica fundamental de la economía familiar campesina, como estrategia de sobrevivencia ante el neoliberalismo y la globalización, los resultados se reportan en el Cuadro 1, con nombre común, científico, principales usos y fines de cada una de las especies.

Cuadro 1. Especies vegetales de los huertos familiares en Tlanchinol, Hidalgo

Nº	Nombre Común	Nombre Científico	Principales Usos	Principales Fines
1	Palma camedor	<i>Chamaedorea elegans mart.</i>	Ornato	Venta
2	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Comestible	Venta
3	Mamey	<i>Pouteria sapota</i>	Comestible	Venta
4	Aguacate	<i>Persea americana</i>	Comestible	Venta
5	Naranja	<i>Citrus x sinensis</i>	Comestible	Autoconsumo
6	Chaya	<i>Cnidoscylus chayamansa</i>	Comestible	Autoconsumo
7	Estafiate	<i>Artemisia ludoviciana</i>	Medicinal	Autoconsumo
8	Hierba cólica	<i>Herniaria glabra</i>	Medicinal	Autoconsumo
9	Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	Comestible	Autoconsumo
10	Durazno	<i>Prunus pérsica</i>	Comestible	Autoconsumo
11	Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>	Comestible	Autoconsumo
12	Noche buena	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	Ornato	Autoconsumo
13	Rosal	<i>Rosa</i>	Ornato	Autoconsumo
14	Lichi	<i>Litchi chinensis</i>	Comestible	Venta
15	Hortalizas		Comestible	Autoconsumo
16	Capulín	<i>Prunus salicifolia</i>	Comestible	Venta
17	Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	Comestible	Autoconsumo
18	Limón	<i>Citrus x limon</i>	Comestible	Autoconsumo
19	Frijol de árbol	<i>Cajanus cajan</i>	comestible	Venta
20	Palo de hule	<i>Castilla elastica</i>	Medicinal	Autoconsumo
21	Bugambilia	<i>Bougainvillea glabra</i>	Ornato	Autoconsumo
22	Hierba buena	<i>Mentha spicata</i>	Medicinal	Autoconsumo
23	Madura plátano	<i>Hamelia patens</i>	Medicinal	Autoconsumo
24	Sábila	<i>Aloe vera</i>	Medicinal	Autoconsumo
25	Papaya	<i>Carica papaya</i>	Comestible	Venta
26	Santa maría	<i>Tanacetum parthenium</i>	Medicinal	Autoconsumo
27	Plátano	<i>Musa x paradisiaca L.</i>	Comestible	Autoconsumo
28	Pioche	<i>Melia azedarach L.</i>	Medicinal	Autoconsumo
29	Canela	<i>Cinnamomun verum</i>	Medicinal	Autoconsumo
30	Sangregado	<i>Crotón magdalenensis</i>	Medicinal	Autoconsumo
31	Guácima	<i>Guazuma tomentosa H.</i>	Medicinal	Autoconsumo

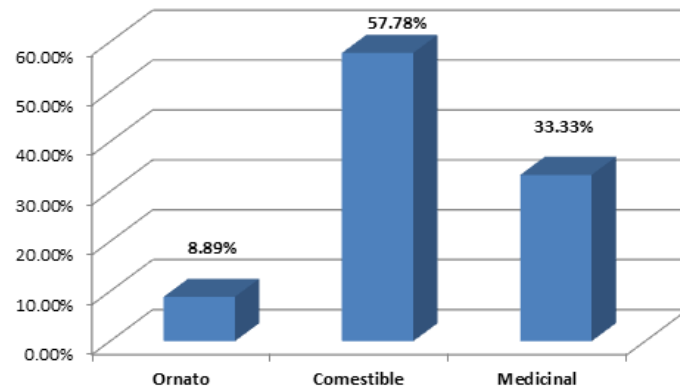
Nº	Nombre Común	Nombre Científico	Principales Usos	Principales Fines
32	Hierba del sapo	<i>Eryngium carline</i>	Medicinal	Venta
33	Ciruelo amarillo	<i>Spondias mombin</i>	Comestible	Venta
34	Ruda	<i>Ruta graveolens L.</i>	Medicinal	Autoconsumo
35	Camarón rojo	<i>Justicia brandegeana</i>	Medicinal	Autoconsumo
36	Chiltepín	<i>Capsicum annum var.</i>	Comestible	Autoconsumo
37	Carambola	<i>Averrhoa carambola</i>	Comestible	Venta
38	Yuca	<i>Manihot esculenta</i>	Comestible	Venta
39	Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	Comestible	Venta
40	Hierva santa	<i>Piper auritum</i>	Comestible	Autoconsumo
41	Lima	<i>Citrus x aurantifolia</i>	Comestible	Venta
42	Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	Comestible	Venta
43	Manzana	<i>Malus doméstica</i>	Comestible	Venta
44	Chayote	<i>Sechum edule</i>	Comestible	Venta
45	Sauco	<i>Sambucus</i>	Medicinal	Autoconsumo

Fuente: Elaboración propia con datos del trabajo de campo

Aunado a la importancia del huerto familiar o solar en la obtención de recursos diversos para la familia, debemos destacar que la importancia de dichos sistemas de producción agrícola forma parte de una estrategia social, que busca alcanzar la soberanía alimentaria nacional, regional y local, en un contexto de la globalización económica originado por el modelo neoliberal, el cual privilegia a los grandes productores y/o agroempresas, dejando a un lado la producción campesina de baja escala y autoconsumo (Altieri y Toledo, 2011).

De las 45 especies vegetales encontradas en los huertos familiares en las tres localidades, el 57.78% de estos vegetales su uso principal es comestible, el 33.33% su principal uso es medicinal y el restante 8.89% es de ornato, como se aprecia en la Figura 1; se debe de rescatar que una misma especie puede tener más de dos usos principales, esta es otra características fundamental de este modo de producción campesina.

Figura 1. Principales usos de las plantas de los huertos familiares



Fuente: Elaboración propia con datos de campo

Los huertos familiares tienen diferentes estructuras, diversidad biológica, funciones, objetivos y fines, en donde participan hombres, mujeres, niños con diferentes roles y/o trabajos a realizar en dichos espacios, constituyendo de esta forma una cultura específica, respeto del cuidado y manejo de sus bienes familiares. En este modo de producción campesina, las mujeres, aparte de ser las amas de casa, son las responsables de cuidar la alimentación y la salud de los integrantes de sus UPR's, los conocimientos que han adquirido estas mujeres domésticas ha sido la transmisión de generación en generación, es una formación tradicional, que proviene de los pueblos originarios. La Figura 2 muestra algunos huertos familiares típicos de las localidades estudiadas.

Figura 2. Huerto de traspatio típico en la Sierra Alta de Hidalgo



Fuente: Elaboración propia

En las comunidades estudiadas, en la búsqueda de la seguridad alimentaria familiar, sus solares forman parte de las viviendas, en donde se desarrolla una alta agrodiversidad y, la importancia de las plantas cultivadas está en función de las necesidades familiares, debido a que coadyuvan de diferente forma, representando fuente potencial de bienes naturales utilizados en las UPR's con múltiples fines y propósitos, con importancia ambiental, económica y cultural, debido a que ocurren diferentes procesos entre los componentes bióticos y abióticos: familia, cultivos, animales domésticos; formando su propia cultura o forma de vida.

Dentro de los usos, costumbres y tradiciones de las comunidades, se encuentra y se reproduce también el sistema de género que regula y determina la condición y posición genérica de hombres y mujeres del grupo de adscripción, donde generalmente las mujeres ocupan un lugar subordinado; enfrentan opresión como campesinas y como mujeres, de manera que su participación en grupos organizados y/o proyectos de desarrollo las enfrenta a retos específicos derivados de esa opresión (Martínez, 2001).

La importancia de las mujeres en las Unidades de Producción Rural tanto en actividades productivas como reproductivas, son cada vez más reconocidas. De ahí que sea necesario destacar su papel y posición como administradoras para considerarlas en cualquier estrategia o proyecto orientado a promover el desarrollo rural sustentable y el manejo de bienes y su protección, con el propósito de que esta participación se efectúe en condiciones de equidad y se fortalezcan procesos de cambio estructural, cuestión que requiere procesos de empoderamiento individual y colectivo para favorecer el cambio en las relaciones de género (Martínez, 2001)

Este trabajo no tiene como fin aclarar los conceptos de soberanía y seguridad alimentaria, lo importante es destacar la importancia de este tipo de agroecosistemas y el rol que juegan dentro de las UPR, no hacemos referencia a los aspectos políticos y económicos relacionados con el abasto y la comercialización de alimentos. La Figura 3, muestra la forma de comercialización a través del mercado regional de este tipo de productos provenientes de los huertos de las diferentes localidades del municipio de Tlanchinol.

En relación al nuevo enfoque de agroecosistemas culturales acuñamos el concepto de soberanía alimentaria, por la principal razón de una diferencia epistémica frente al de seguridad alimentaria. Éste último tiene su origen en las políticas alimentarias que animaron la revolución verde de los años cuarenta del siglo XX. El presidente Truman de los Estados Unidos de Norteamérica impulsó la seguridad alimentaria como negocio

para las transnacionales para producir más intensivamente la agricultura comercial, sin importar tanto la calidad de los alimentos, en consecuencia en un deterioro de la agricultura familiar (Souza-Victorino 2014). Desde los años setenta, en respuesta a esa versión de seguridad alimentaria, el movimiento social mundial Vía Campesina propone y lleva a la práctica el concepto y la política mundial alternativa de la soberanía alimentaria. Ésta implica una opción del cuidado del medio ambiente, una participación campesina ligada al territorio, al fortalecimiento del Estado-Nación, pero sobre todo de la defensa de agricultura familiar y la producción de alimentos sanos y nutritivos (Souza-Victorino, 2014). En la región de estudio verificamos y orientamos más indicadores de inclusión, capacidades de producción local, alimentación y aspectos culturales hacia la soberanía alimentaria.

Figura 3. Mercado regional del municipio de Tlanchinol, Hidalgo



Fuente: Elaboración propia

En la actualidad, nos seguimos enfrentando a un debate teórico metodológico, algunos autores señalan que estamos ante un término ambiguo y confuso (el concepto de Huertos Familiares), debido a los profundos cambios que la realidad de la agricultura familiar ha experimentado cuando hablamos de agricultura familiar seguimos refiriéndonos

a una amplia y variada gama de explotaciones agropecuarias que se desarrollan en las comunidades y ejidos del país, con la existencia de algunos rasgos comunes que las diferencian de la agricultura capitalista.

Aquí podemos señalar que la economía campesina busca la autosuficiencia alimentaria, los diferentes procesos productivos se basan en la mano de obra familiar, persigue constantemente su reproducción; lo anterior son solo algunas de sus características. Para poder subsistir los campesinos efectúan una serie de prácticas: recolección (agrícola, ganadera, forestal y pesca), elaboración de artesanías, manejo y aprovechamiento de los bienes naturales como la vegetación, el agua, la tierra, en este contexto Toledo (1993) señala que es una forma de producción en la cual los productores utilizan los recursos naturales como medios básicos e irremplazables, también menciona que adoptan mecanismos de supervivencia garantizando un flujo ininterrumpido de bienes, materia y energía desde el medio ambiente natural y transformándolo.

En estos contextos globales cabe señalar los cambios que tiene para la agricultura: (a) genera nuevas exigencias y limitaciones a las actividades agropecuarias, mediante restricciones al uso y explotación de los recursos naturales con fines productivos o bien, mediante restricciones a la utilización de determinados insumos de síntesis química en el proceso de producción: pesticidas, tratamientos fitosanitarios, fertilizantes, semillas, entre otros; (b) situar a la agricultura campesina en un contexto de creciente incertidumbre ante la apertura comercial de los mercados y la eliminación de los sistemas de protección vinculados a las políticas agrarias, por ejemplo los precios de garantía de algunos productos básicos, lo cual está provocando escenarios de volatilidad que afecta la competitividad de muchos campesinos de menor escala y (c) la agricultura campesina otorga la posibilidad de desempeñar nuevas funciones, ampliando el campo de acción de su tradicional función productora de alimentos (nuevos consumidores, nuevas demandas alimentarias, por ejemplo la agricultura orgánica certificada).

La estructura compleja de la economía capitalista, en muchas ocasiones determina los objetivos de las unidades campesinas familiares, sin embargo, una de las características propias es, la familia como unidad de consumo y producción. Para la mayor parte de los campesinos del país, dada su marginación, pobreza y la inseguridad alimentaria a que están sujetos, el principal objetivo sigue siendo la sobrevivencia. En las decisiones sobre cómo y qué cultivar, influyen no sólo los recursos monetarios disponibles, como es el caso en una unidad de producción capitalista, en la unidad campesina influye también el número y composición por sexos y edades de los integrantes.

Es así como en este nuevo escenario económico, la rentabilidad de las explotaciones agropecuarias depende menos de su capacidad productiva, que de su inserción en los mercados (globalización económica) y en las redes de comercialización. En este sentido, mientras que las grandes empresas agrícolas capitalistas tienen capacidad para integrarse por sí solas al mercado, las de base familiar y menor escala tienen que hacerlo a través de organización de productores como: Cooperativas, Sociedades de Producción Rural o cualquier otra figura social que les plantea el reto ineludible de la cooperación. Además, el nuevo escenario económico abre otras posibilidades a los pequeños productores, de efectuar otras funciones no productivas, donde, debido a su mayor integración en el territorio, la agricultura de base familiar puede encontrar vías de ingresos, garantizando así su reproducción social y económica.

CONCLUSIONES

La cuestión de la soberanía alimentaria nacional, es un nuevo paradigma que se está convirtiendo en el nuevo marco de política pública para cuestionar las tendencias del desarrollo rural, así como las políticas alimentarias y agrícolas que no respaldan los intereses y las necesidades de los pequeños productores agrícolas del país, en este caso, los de la Sierra Alta de Hidalgo.

La constante búsqueda de lograr la soberanía alimentaria en México, es una oportunidad para crear estrategias locales de adaptación y mitigación al cambio climático global, dado que en estas comunidades marginadas tienen la capacidad de producir alimentos sanos y de manera sustentable, en sus propias casas y parcelas.

Es necesario reconocer que en estos sistemas de producción agrícola, tanto la especies de animales y vegetales han sido conservadas para fomentar estrategias de intercambio entre las comunidades, entre las familias, en la misma región, de esta forma no sólo se ha asegurado la permanencia y conservación de este importante acervo genético, además de que se enriquece la cantidad de recursos disponibles para la familia y de esta manera subsanar algunas limitantes económicas.

El manejo de este tipo de agroecosistemas productivos de baja escala, debe formar parte de las estrategias de soberanía alimentaria nacional, debemos de fomentar redes de abasto y/o intercambio, que no dependan exclusivamente de las leyes del mercado, dado que existen múltiples estrategias campesinas que se hacen efectivas en los huertos familiares, que deben ser revitalizadas y fortalecidas en este tránsito hacia la soberanía alimentaria nacional.

El huerto familiar constituye una alternativa de disponibilidad de alimentos, condicionando la cantidad y en ocasiones la calidad del consumo familiar, de esta manera se complementan las hortalizas, árboles frutales, medicinales, aromáticas, además de aves y ganado menor. Los solares bien establecidos y trabajados pueden cubrir la demanda de alimentos básicos de las familias y, cuando se origina la venta de algunos productos, se contribuye a mejorar los ingresos en sus hogares, que en ocasiones se utiliza para adquirir insumos agrícolas como semillas, o bien para satisfacer otras necesidades.

La producción rural campesina, el autoconsumo y abastecimiento de alimentos para la familia, genera menor dependencia de alimentos. La venta del excedente que se produce en dichas unidades, sirve para recapitalizarse, para seguir su reproducción. También, señalamos que para completar el ingreso familiar, los campesinos se dedican a otras actividades económicas, obteniendo ingresos monetarios, algunos autores lo señalan como el nuevo modelo de ruralidad, los cuales mencionan que en el campo no se realizan exclusivamente actividades agropecuarias.

La agricultura familiar campesina se ha enmarcado en un escenario social, económico y político, que es diferente en el que se ha guiado durante muchos años; este nuevo escenario les crea, incertidumbres, que son evidentemente distintos según las diferentes regiones del país; sin embargo, es también cierto que les ofrece nuevas oportunidades y les plantea nuevos desafíos, e incorpora en el sector agropecuario a una nueva cultura basada en la diversidad y pluralidad.

Por último, señalamos que el huerto familiar o traspatio es un sistema de producción, en donde, cada familia rural contiene uno de diferente tamaño y forma; provee de alimentos y otros satisfactores tanto vegetales como de animales variarán de acuerdo con las condiciones agroclimáticas, sin dejar a un lado la cultura y economía de los campesinos.

Agradecimientos

Los autores queremos agradecer ampliamente a los campesinos y sus familias de las diferentes localidades de la región Sierra Alta de Hidalgo, en especial a los de Olotla, Apantlazol y de Huitepec, sin ellos sería imposible establecer una relación de mutuo aprendizaje, también mención especial al compañero Ing. Abel Hernández Leonides, representante del CEVACYTT en el estado de Hidalgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri M., y Toledo V. (2011). La revolución agroecológica en Latinoamérica. *The Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587-612
- Bartra A. 2009. *Hacer milpa*. Revista ciencias 92-93, octubre 2008. Facultad de Ciencias. UNAM. Recuperado en <http://www.cicy.mx/documentos/CICY/Sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap2/06%20Milpa,%20biodiversidad%20y%20diversidad%20cultural.pdf>
- Chablé-Pascual, Rosalva, Palma-López, David Jesús, Vázquez-Navarrete, Cesar Jesús, Ruiz-Rosado, Octavio, Mariaca-Méndez, Ramón, & Ascensio-Rivera, Jesús Manuel. (2015). Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(4), 23-39. Recuperado en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000100003&lng=es&tlng=es
- CONEVAL. (2010). La pobreza por ingresos en México. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. México, D.F.
- CONEVAL. (2016). Resultado de pobreza en México 2016 a nivel nacional y por entidades federativas. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. México. Consultado en <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/PobrezaInicio.aspx>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (DOF 15-09-2017)
- FAO. (1996). Cumbre Mundial sobre la Alimentación 1996. Declaración de Roma sobre la seguridad alimentaria mundial. Roma: FAO.
- FAO. (2002). Informe de la cumbre mundial sobre la alimentación: cinco años después. Roma: FAO.
- FAO. (2013). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. Las múltiples dimensiones de la seguridad alimentaria. Roma: FAO. Consultado en: <http://www.fao.org/docrep/019/i3434s/i3434s00.htm>
- Gliessman, S. R. (2013). Agroecología: plantando las raíces de la resistencia», *Agroecología*, 8(2), pp. 19-26.
- Guba E. G. 1978. *Toward a Methodology of Naturalistic Inquiry in Educational Evaluation*. Los Ángeles: UCLA. Los ángeles, California. p.81
- Hernández X., E. (edit). (1977). *Agroecosistemas de México*. CP-ENA. p. 42
- INEGI. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México D. F
- JUAN P. J. I. (2013). *Los huertos familiares en una provincia del subtrópico Mexicano UAEM. MÉXICO*
- Lazcarro S. I. 2013. *El sistema milpa: laboratorio de biodiversidad, lugar de batallas cósmicas*. En Tlacuache 576. Suplemento cultural. INAH, Morelos. Recuperado de http://hool.inah.gob.mx:1127/jspui/bitstream/123456789/242/1/576_30_junio.pdf
- Mariaca M. R. 2012, La complejidad del huerto familiar maya del sureste de México, en Mariaca M. R. (ed.). *El huerto familiar del sureste de México*, México. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco/ ecosur, pp. 7-97
- Martínez, C. (2001). *Mujeres rurales, género y ambiente. Experiencias locales orientadas a la sustentabilidad*. En Ayala, R. *La situación ambiental en Puebla*. Lupus Magíster. México. pp. 257-263
- Montaldo, P. 1982. *Agroecología del Trópico Americano*. IICA, San José, Costa Rica. p.11
- SAGARPA. (2013). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012*. Informe país. México: FAO, SAGARPA, SEDESOL, CONEVAL, INSP, 2013.
- SAGARPA-FAO. (2014). *Diagnóstico del sector rural y pesquero de México 2012*. Impreso en Danda editores. México
- Souza S.J., Victorino R.L. (2014). *Educación Agrícola Superior. Cambio de época*. Cámara de Diputados- CDRSSA, México.
- Toledo, V. M. 1993. La racionalidad ecológica de la producción campesina. In *Agroecología y Desarrollo*. CLADES. Número Especial 5/6 diciembre. 20 p.

Torquebiau, E. (1992), Are tropical agroforestry home gardens sustainable, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 41(2), pp. 189-207.

Victorino R. L. (2015). *Tópicos de investigación social educativa*, UACH, México, 1ra Reimpresión.

Capítulo II

EL SILICIO AFECTA LA ABSORCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS EN PLANTAS DE ARROZ SOMETIDAS A ESTRÉS OSMÓTICO

Sara Monzerrat Ramírez Olvera¹, Fernando Carlos Gómez Merino^{1}, Libia Iris Trejo Tellez¹*

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. Correo e: ramirez.sara@colpos.mx, fernandg@colpos.mx y tlibia@colpos.mx.

RESUMEN

La sequía es uno de los principales factores que afecta la producción agrícola, al provocar alteraciones en el metabolismo vegetal, por lo que es necesaria la búsqueda de alternativas que mejoren la tolerancia a este tipo de estrés. En este contexto el objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de Si en la absorción de macro nutrientes en plantas de arroz cv. Morelos A-98, bajo estrés osmótico. Plantas de 28 d se sometieron a estrés osmótico con la adición de PEG 8000 al 10% y se trataron con 1 y 2 mM de Si. La adición de Si modifica la absorción de macronutrientes en plantas de arroz, bajo condiciones de estrés osmótico.

Palabras clave: *Oryza sativa*, elementos benéficos, contenido nutrimental

ABSTRACT

Drought is one of the main factors that affect agricultural production, causing alterations in plant metabolism, so it is necessary to search for alternatives that improve tolerance to this type of stress. In this context, the objective of this research was evaluate the effects of Si on the absorption of macro nutrients in rice plants cv. Morelos A-98, under osmotic stress. Plants of 28 d under osmotic stress with the addition of 10% PEG 8000 and treated

with 1 and 2 mM Si. The addition of Si modifies the absorption of macronutrients in rice plants, under conditions of osmotic stress.

INTRODUCCIÓN

El arroz es el segundo cereal más producido y consumido en el mundo; es el alimento básico para más de la mitad de la población. Actualmente se cultiva en más de 100 países y proporciona el 20% de las calorías consumidas en el mundo (Borrasen y Ryan, 2014; FAO, 2018). Sin embargo, su producción se ve amenazada por los efectos del cambio climático.

La sequía, es uno de los efectos del cambio climático de mayor riesgo e impacto en el metabolismo vegetal (Munns y Tester, 2008). Diversos estudios indican que la sequía disminuye el crecimiento, al reducir la actividad fotosintética, los pigmentos fotosintéticos (Wang *et al.*, 2019), limitar el intercambio gaseoso, la asimilación de carbono y la producción de biomasa (Zhang *et al.*, 2018). Además de causar daño oxidativo a proteínas y lípidos, reducir el potencial hídrico, la turgencia (Chen *et al.*, 2011) y limitar la absorción de nutrientes a través de las raíces y el posterior transporte a los brotes, lo que reduce la disponibilidad de nutrientes y el metabolismo (Farooq *et al.*, 2009).

Actualmente se conocen 17 elementos esenciales, que son requeridos para completar el ciclo de vida de las plantas. Estos elementos esenciales para las plantas se clasifican en macronutrientes y micronutrientes.

Los macronutrientes incluyen carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg), nitrógeno (N), azufre (S) y fósforo (P), de los cuales C, H y O representan aproximadamente el 95% de la materia seca de la planta y el resto de los macronutrientes están presentes a más de 1000 mg kg⁻¹ de seco peso. Los micronutrientes incluyen cloro (Cl), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y zinc (Zn) y representan menos de 100 mg kg⁻¹ de peso seco (Pilon-Smits *et al.*, 2009).

Además, existen otros elementos, que, a pesar de no ser considerados elementos esenciales, promueven el crecimiento y mejoran las características de las plantas, cuya función depende de la concentración del elemento y de la especie vegetal. Estos elementos son llamados elementos benéficos, los cuales son útiles para algunas plantas. Los elementos benéficos pueden promover el crecimiento vegetal, mejorar la resistencia a diferentes tipos de estrés biótico como daño por patógenos y herbivoría, y factores abióticos como sequía,

salinidad y toxicidad o deficiencia de nutrimentos. En esta clasificación se encuentra el silicio (Si) (Pilon-Smits *et al.*, 2009; Trejo-Téllez *et al.*, 2016).

El Si está clasificado como un metaloide, y es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno, al conformar el 25.7% de ésta (Tréguer y Rocha, 2013). Se ha reportado que su aplicación mejora la resistencia a factores de estrés bióticos y abióticos en diferentes especies vegetales.

En condiciones de estrés por sequía, se ha reportado que la aplicación de Si incrementa el crecimiento (Cao *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2018); la acumulación de osmolitos (Chen *et al.*, 2018); la concentración de pigmentos fotosintéticos, mejora la estructura de los tilacoides y los cloroplastos (Zhang *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019); incrementa la actividad de enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa, peroxidasa, catalasa y glutatión reductasa (Ming *et al.*, 2012; Coskun *et al.*, 2016).

Por otra parte, la acumulación de Si en hojas, genera la formación de una doble capa en la cutícula, reduciendo con ello la tasa de transpiración, la apertura de estomas y limitando la pérdida de agua en las plantas (Amin *et al.*, 2018); asimismo mejora la conductancia hidráulica de la raíz, aumenta la expresión de acuaporinas y el contenido de agua en las hojas (Liu *et al.*, 2015; Coskun *et al.*, 2016).

Así también, el Si puede jugar un papel importante en el equilibrio de la captación, el transporte y la distribución de minerales en las plantas sometidas a estrés por la sequía. En este contexto el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de Si a plantas de arroz Morelos A-98 sometidas a estrés osmótico.

METODOLOGÍA

Ubicación del experimento

La presente investigación se realizó en condiciones de invernadero, en el Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, ubicado en el municipio de Texcoco, Estado de México a una altitud de 2250 m, 19° 29' LN y 98° 54' LO.

Material vegetal y desinfección de semillas

Se utilizaron semillas de arroz Morelos A-98, obtenidas del banco de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el Campo Experimental Zacatepec, Morelos.

Las semillas se desinfectaron mediante su inmersión en etanol al 70% por 10 min, enseguida se realizaron 3 lavados con agua destilada y se depositaron por 1 h en solución de 5% NaClO a la cual se le adicionó una gota de Tween 20. Después, las semillas se lavaron 5 veces con agua destilada estéril y se secaron sobre papel filtro.

Posteriormente, las semillas se depositaron en frascos de vidrio con medio MS suplementado con sacarosa y 0.8% de agarosa. Enseguida los frascos se colocaron en oscuridad por 3 d y después a luz natural por 12 días.

Las plantas de 12 días de edad se transfirieron a un sistema hidropónico en recipientes de 14 L con solución nutritiva Magnavaca modificada por Famoso *et al.* 2010, con las concentraciones siguientes: 1 mM KCl, 1.5 mM NH_4NO_3 , 1 mM $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 45 μM KH_2PO_4 , 200 μM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 500 μM $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 155 μM $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 11.8 μM $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 33 μM H_3BO_3 , 3 μM $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.8 μM $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 1 μM $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 77 μM Fe-EDTA.

Siete días después del trasplante, la solución Magnavaca se reemplazó por solución Yoshida (1.43 mM NH_4NO_3 , 1.00 mM $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 1.64 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1.32 mM K_2SO_4 , 320 μM NaH_2PO_4 , 100 μM Fe-EDTA, 7.99 μM $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0.15 μM $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.15 μM $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.08 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ y 1.39 μM H_3BO_3).

Catorce días después del trasplante, se adicionaron a la solución nutritiva 0, 1 y 2 mM de Si a partir de SiO_2 y a los 28 días después del trasplante, las plantas se sometieron a estrés osmótico mediante la adición de Polietilenglicol 8000 (PEG) al 10% por 7 días. La solución nutritiva se reemplazó cada siete días y al cada tercer día, se repuso la solución consumida. El pH se ajustó a 5.5, para lo cual se utilizó H_2SO_4 o NaOH 1 N.

A los 7 d del inicio del tratamiento con PEG, las plantas se retiraron de la solución nutritiva, se enjugaron y se colocaron en una estufa de aire forzado a 72 °C por 72 h. Luego del secado se determinó el peso de la biomasa seca usando la balanza analítica antes descrita y se realizó en análisis nutrimental.

Análisis nutrimental

Tejido seco de vástago y raíz se molió finamente, para después tomar 0.25 g de éste y someterlo a digestión húmeda con una mezcla de H_2SO_4 : HClO_4 (2:1, v:v) por 2 h a 390 °C.

El digestado resultante se filtró y aforó a 25 mL con agua desionizada. En el extracto obtenido se determinaron las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg mediante

espectroscopia de emisión atómica de inducción con plasma acoplado (ICP-OES, Agilent 725-OES, Australia). Mientras que la concentración de N total se determinó por el método Semimicro-Kjeldhal (Bremner, 1965).

Diseño experimental

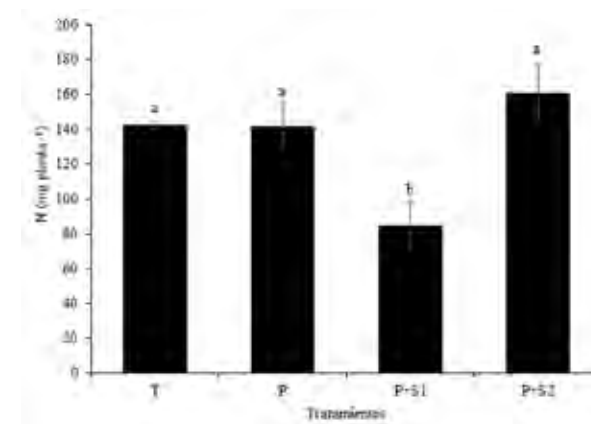
Se utilizó un diseño experimental completamente al azar y se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias Duncan, con un nivel de significancia de 0.05, utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2011).

RESULTADOS

Contenido de nitrógeno. El contenido de nitrógeno en plantas de arroz sometidas a estrés osmótico no se modificó. De la misma manera que no se alteró el contenido de nitrógeno, con la adición de 2 mM Si. Mientras que la aplicación de 1 mM Si redujo significativamente la concentración de nitrógeno en 40.46%, en comparación con el tratamiento testigo (Gráfico 1).

De manera coincidente Ruppenthal *et al.* (2016) reportan que la aplicación Si a plantas de soya *Glycine max* bajo estrés hídrico redujo la concentración de nitrógeno. Así también, Jang *et al.* (2018), indican que la adición de 0.5, 1, 2 y 4 mM de $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, disminuyó el contenido de nitrógeno en plantas de arroz.

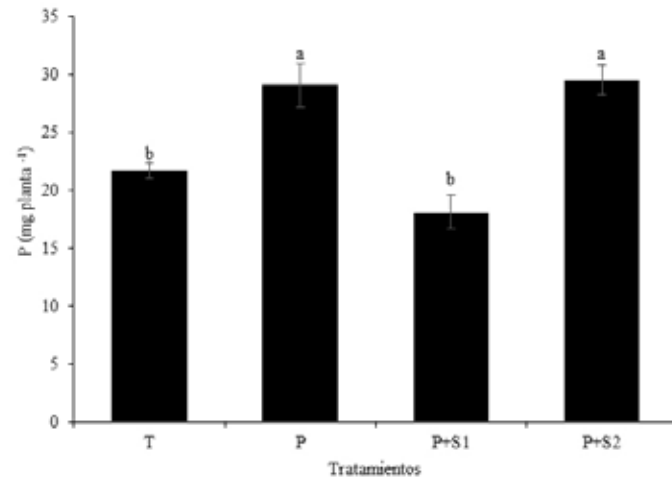
Gráfico 1. Contenido de nitrógeno en vástagos de plantas de arroz tratadas con Si a partir de SiO_2 .



T: testigo; P: Polietilenglicol 8000; P+S1: Polietilenglicol 8000+1 mM SiO_2 ; P+S2: Polietilenglicol 8000+2 mM SiO_2 . Medias con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Duncan, $P \leq 0.05$)

Contenido de fósforo. En cuanto al contenido de fósforo, el tratamiento con PEG y la adición de 2 mM de Si, incrementó significativamente la concentración de fósforo en 34.19 y 36.22%, respectivamente, sin observar efectos significativos con la adición de 1 mM de Si (Gráfico 2). Lo cual es acorde con lo reportado por Gao *et al.* (2006), quienes informan que la adición de Si disminuyó la concentración de P en la sabia del xilema de maíz. Así también Hu *et al.* (2018), mostraron que la aplicación de Si a plantas de arroz redujo en 50% la expresión del transportador de fósforo OsPT6 en raíz, disminuyendo la absorción de fósforo.

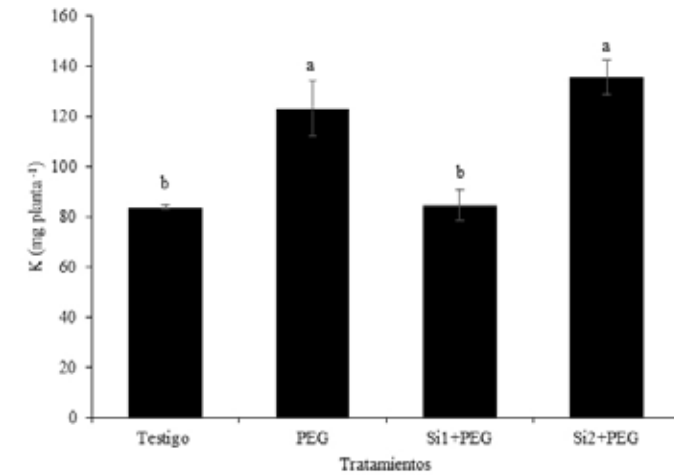
Gráfico 2. Contenido de fósforo en vástagos de plantas de arroz tratadas con Si a partir de SiO₂.



T: testigo; P: Polietilenglicol 8000; P+S1: Polietilenglicol 8000 + 1 mM SiO₂; P+S2: Polietilenglicol 8000+2 mM SiO₂. Medias con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Duncan, $P \leq 0.05$)

Contenido de potasio. El contenido potasio no fue afectado significativamente con la adición de 1 mM Si, mientras que el tratamiento con PEG y la adición de 2 mM de Si incrementó en contenido de potasio en 47.13 y 61.58%, respectivamente (Gráfico 3). De manera coincidente, Chen *et al.*, 2011, indican que la adición de Si a plantas de arroz bajo estrés por sequía, disminuyó la concentración de K en vástago en líneas susceptibles y resistentes a la sequía.

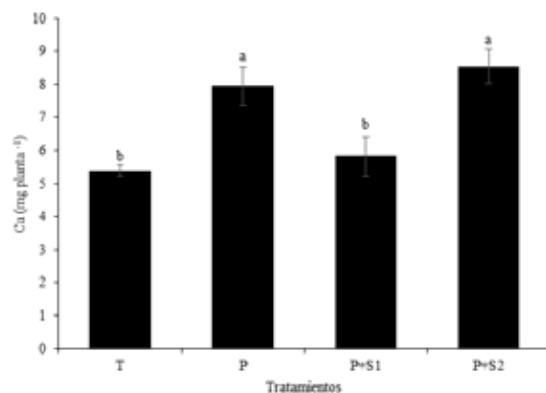
Gráfico 3. Contenido de potasio en vástagos de plantas de arroz tratadas con Si a partir de SiO₂.



T: testigo; P: Polietilenglicol 8000; P+S1: Polietilenglicol 8000 + 1 mM SiO₂; P+S2: Polietilenglicol 8000+2 mM SiO₂. Medias con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Duncan, $P \leq 0.05$)

Contenido de calcio. El contenido de calcio incremento significativamente en las plantas sometidas a estrés osmótico, mientras que la adición de 1 mM de Si redujo significativamente en 26.61% el contenido de calcio, respecto a las plantas tratadas con PEG, sin mostrar efectos significativos a la concentración 2 mM (Gráfico 4). Lo cual puede deberse al efecto del Si en la transpiración, puesto que la deposición de Si en la pared celular, reduce la excesiva transpiración en condiciones de estrés osmótico, lo cual podría reducir la absorción de Ca, dado que el transporte de calcio a largas distancias dentro de la planta, es un proceso dependiente de la transpiración (González-Fontes *et al.*, 2017). Así también Fleck *et al.*, 2011, reportan que la disminución en la absorción de Ca después de la aplicación de Si, se debe al incremento en la deposición de Si en la endodermis y la exodermis de la raíz, disminuyendo la absorción de Ca. De la misma manera Pei *et al.* (2010), demuestran que la adición de Si a plantas de maíz bajo estrés osmótico, incrementó el contenido de Ca en hojas. Así mismo, Mehrabanjoubani *et al.* (2015), reportan que la adición de 1.5 mM de metasilicato de sodio a plantas de algodón y trigo redujo en 19% and 21% respectivamente la concentración de Ca en vástago.

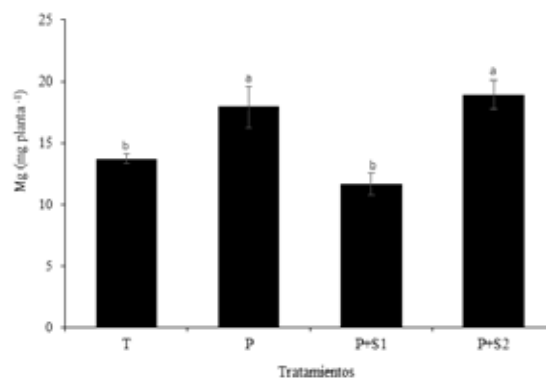
Gráfico 4. Contenido de calcio en vástagos de plantas de arroz tratadas con Si a partir de SiO₂.



T: testigo; P: Polietilenglicol 8000; P+S1: Polietilenglicol 8000 + 1 mM SiO₂; P+S2: Polietilenglicol 8000+2 mM SiO₂. Medias con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Duncan, P ≤ 0.05)

Contenido de magnesio. La adición de 1 mM de Si no afectó significativamente el contenido de Mg, respecto al testigo de no aplicación, sin embargo, la concentración de Mg fue significativamente menor respecto a las plantas tratadas con PEG, mientras que la adición de 2 mM de Si a las plantas bajo estrés osmótico incrementó la concentración de Mg, respecto al testigo (Gráfico 5). De manera similar Mehrabanjoubani *et al.* (2015), mencionan que la aplicación de 1.5 mM metasilicato de sodio redujo el contenido de Mg en plantas de trigo.

Gráfico 5. Contenido de magnesio en vástagos de plantas de arroz tratadas con Si a partir de SiO₂.



T: testigo; P: Polietilenglicol 8000; P+S1: Polietilenglicol 8000 + 1 mM SiO₂; P+S2: Polietilenglicol 8000+2 mM SiO₂. Medias con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Duncan, P ≤ 0.05)

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación, indican que la aplicación de Si modifica el estado nutricional en vástago de plantas de arroz Morelos cv. A-98, sometidas a estrés osmótico.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de posgrado otorgada a

Sara Monzerrat Ramírez Olvera del Programa de Doctorado en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad- Fisiología Vegetal, del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Al Laboratorio de Nutrición Vegetal del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados por las facilidades en el establecimiento del experimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amin, M., Ahmad, R., Ali, A., Hussain, I., Mahmood, R., Aslam, M. & Lee, D. J. (2018). Influence of silicon fertilization on maize performance under limited water supply. *Silicon* 10,177-183.
- Bremner, S. M. (1965). Total nitrogen, *Methods of Soil Analysis Agronomy* 9. En: C. A Black (Ed.). Am. Soc. of Agronomy, Madison, Wisconsin U.S.A, 1162 p.
- Borresen, E. C. & Ryan, E. P. (2014). Rice bran: A food ingredient with global public health opportunities. En R.R. Watson, V.R. Preedy & S. Zibadi (Eds.) *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health* (pp. 301-310). San Diego, Estados Unidos: Editorial Elsevier.
- Cao, B. L., Ma, Q., Zhao, Q., Wang, L. & Xu, K. (2015). Effects of silicon on absorbed light allocation, antioxidant enzymes and ultrastructure of chloroplasts in tomato leaves under simulated drought stress. *Scientia Horticulturae*, 194, 53-62.
- Chen, W., Yao, X., Cai, K. & Chen, J. (2011). Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological trace element research*, 142, 67-76.
- Chen, D., Wang, S., Yin, L. & Deng, X. (2018). How Does Silicon Mediate Plant Water

- Uptake and Loss Under Water Deficiency?. *Frontiers in plant science*, 9, 281.
- Coskun, D., Britto, D. T., Huynh, W. Q. & Kronzucker, H. J. (2016). The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in plant science*, 7, 1072.
- Famoso, A. N., Clark, R. T., Shaff, J. E., Craft, E., McCouch, S. R. & Kochian, L. V. (2010). Development of a novel aluminum tolerance phenotyping platform used for comparisons of cereal aluminum tolerance and investigations into rice aluminum tolerance mechanisms. *Plant physiology*, 153, 1678-1691.
- FAO. 2018. Rice market monitor. Retrieved February 18, 2019 from the <http://www.fao.org/3/I9243EN/i9243en.pdf>
- Farooq, M., Wahid, A., Lee, D. J., Ito, O. & Siddique, K. H. (2009). Advances in drought resistance of rice. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28, 199-217.
- Fleck, A. T., Nye, T., Repenning, C., Stahl, F., Zahn, M. & Schenk, M. K. (2011). Silicon enhances suberization and lignification in roots of rice (*Oryza sativa*). *Journal of Experimental Botany*, 62, 2001-2011.
- Gao, X., Zou, C., Wang, L. & Zhang, F. (2006). Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 1637-1647.
- González-Fontes, A., Navarro-Gochicoa, M. T., Ceacero, C. J., Herrera-Rodríguez, M. B., Camacho-Cristóbal, J. J. & Rexach, J. (2017). Plant Macronutrient Use Efficiency. En M.A. Hossain, T. Kamiya, D.J. Burritt, L.S.P. Tran & T. Fujiwara (Eds.) *Understanding calcium transport and signaling, and its use efficiency in vascular plants* (pp. 165-180). Academic Press. Amsterdam.
- Hu, A. Y., Che, J., Shao, J. F., Yokosho, K., Zhao, X. Q., Shen, R. F. & Ma, J. F. (2018). Silicon accumulated in the shoots results in down-regulation of phosphorus transporter gene expression and decrease of phosphorus uptake in rice. *Plant and Soil*, 423, 317-325.
- Jang, S. W., Kim, Y., Khan, A. L., Na, C. I. & Lee, I. J. (2018). Exogenous short-term silicon application regulates macro-nutrients, endogenous phytohormones, and protein expression in *Oryza sativa* L. *BMC Plant Biology*, 18, 4.
- Liu, P., Yin, L., Wang, S., Zhang, M., Deng, X., Zhang, S. & Tanaka, K. (2015). Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon alleviated salt-induced osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. *Environmental and Experimental Botany*, 111, 42-51.
- Mehrabanjoubani, P., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H. R. & Aghdasi, M. (2015). Silicon affects transcellular and apoplastic uptake of some nutrients in plants. *Pedosphere*, 25, 192-201.
- Ming, D. F., Pei, Z. F., Naeem, M. S., Gong, H. J. & Zhou, W. J. (2012). Silicon alleviates PEG induced water deficit stress in upland rice seedlings by enhancing osmotic adjustment. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198, 14-26.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- Pei, Z. F., Ming, D. F., Liu, D., Wan, G. L., Geng, X. X., Gong, H. J. & Zhou, W. J. (2010). Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29, 106-115.
- 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, 267-274.
- Ruppenthal, V., Zoz, T., Steiner, F., do Carmo Lana, M. & Castagnara, D. D. (2016). Silicon does not alleviate the adverse effects of drought stress in soybean plants. *Semina: Ciências Agrárias*, 37, 6, 3941-3954.
- SAS. (2011). Institute. Statistical Analysis System version 9.3. User's Guide. Cary, NC.
- Tréguer, P. J. & De La Rocha, C. L. (2013). The world ocean silica cycle. *Annual review of marine science*, 5, 477-501.
- Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C. & Alcántar-González, G. (2016). Elementos benéficos: potencialidades y limitaciones. En: G. Alcántar-González, L.I. Trejo-Téllez & Gómez-Merino, F. C. (Eds.), *Nutrición de Cultivos* (pp. 59-101). Montecillo, Ed. Colegio de Postgraduados.

Wang, Y., Zhang, B., Jiang, D. & Chen, G. (2019). Silicon improves photosynthetic performance by optimizing thylakoid membrane protein components in rice under drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 158, 117-124.

Zhang, J., Zhang, S., Cheng, M., Jiang, H., Zhang, X., Peng, C. & Jin, J. (2018). Effect of Drought on Agronomic Traits of Rice and Wheat: A Meta-Analysis. *International journal of environmental research and public health*, 15, 839.

INFLUENCIA DEL ÁCIDO ABCÍSIICO Y DEL PINOLENE EN LA MORTANDAD DE PLÁNTULAS Y CONTENIDO DE ALMIDÓN EN EL CULTIVO DE FRESA (CV. *primoris*)

Héctor Manuel Rodríguez Morán¹; Rafael Delgado Martínez²;
Wilberth Alfredo Poot Poot³; Ma. Teresa de Jesús Segura Martínez⁴

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Victoria, C. P 87149, Cd. Victoria, Tamaulipas, México. hecrodriguez@docentes.uat.edu.mx

² Dr. Rafael Delgado Martínez rdelgado@docentes.uat.edu.mx

³ Dr. Wilberth Alfredo Poot Poot, wpoot@docentes.uat.edu.mx

⁴ Dra. Ma. Teresa de Jesús Segura Martínez tsegura@docentes.uat.edu.mx

RESUMEN

La acumulación y movilización de los carbohidratos son muy importantes en las plantas puesto que ejercen una función primordial en el desarrollo y crecimiento una vez finalizado el desarrollo de los órganos. Por lo tanto, hay una relación directa al rendimiento y calidad de la producción. Por lo que se planteó el estudio de tres concentraciones de ABA exógeno (45, 90 y 13545 $\mu\text{mol.L}$) y un antitranspirante, esto, para regular del crecimiento vegetal, para acondicionar los trasplantes de plántulas de fresa y la acumulación de reservas. Donde, se observó que las plantas trasplantadas con cepellón y los tratamientos ABA45, ABA135 y pinolene presentaron porcentajes muy similares de plantas vivas por lo cual no se encontraron diferencias significativas. Referente a los niveles de almidón en raíces y coronas, los tratamientos realizados con ABA no han tenido influencia en el contenido de carbohidratos. Los parámetros productivos fueron más altos en las plantas tratadas con el tratamiento ABA45

Palabras clave: almidón, ABA, plántulas, antitranspirante

ABSTRACT

The accumulation and mobilization of carbohydrates are very important in plants since they play a major role in the development and growth once the development of the organs is completed. Therefore there is a direct relationship to the yield and quality of the production. So, the study of three concentrations of exogenous ABA (45, 90 and 13545 μ mol.L) and an antiperspirant, this, to regulate plant growth, to condition the transplants of strawberry seedlings and the accumulation of reserves. Where, it was observed that the transplanted plants with root ball and the treatments ABA45, ABA135 and pinolene presented very similar percentages of live plants, for which no differences were found e.s. Regarding the starch levels in roots and crowns, the treatments carried out with ABA had no influence on the carbohydrate content

Key words: starch, ABA, seedling, antiperspirant

INTRODUCCIÓN

“La fresa es un cultivo hortícola que en los últimos años ha presentado una evolución: por su valor de producción, alto valor nutritivo, por su acción antioxidante basada en su contenido de vitamina C, bioflavonoides y antocianinas” (Banaeian *et al.*, 2011). Por otra parte las fresas “son frutos muy apreciados como postres; ideales para su consumo en fresco o utilización industrial para la obtención de extractos, jugos y concentrados empleados en la fabricación de mermeladas, confituras, conservas y congelados” (Strand, 2008).

Comportamiento fisiológico del crecimiento y desarrollo

Veschambre *et al.*, citado por (Maroto 2002) “afirman que el cultivo de la fresa se diferencia una etapa vegetativa y otra productiva, entre ellas existen ocho fases de desarrollo, desde la fase “A” de reposo vegetativo, hasta una fase “H” de fructificación”.

Medina (2003) “cita que en función de la longitud del día y la temperatura las variedades de fresa se clasifican en: cultivares de día corto o no reflorecientes y variedades de día largo (reflorecientes). Sin embargo, “los días cortos en primavera (marzo) también estimulan alguna brotación floral (López- Aranda, 2008).

Acumulación de reservas. “La acumulación y movilización de carbohidratos son importantes en las plantas, ejerciendo una función en el desarrollo y crecimiento, dichos azúcares se almacenan temporalmente como almidón en las raíces y coronas de la fresa” (Guttridge y Anderson, 1975). Por otra parte “El contenido de almidón es necesario para

la propagación de la planta” (Lieten *et al.*, 1995). “El almacenamiento a largo plazo, el establecimiento de la plantación, la precocidad y el rendimiento de frutos” (Stapleton *et al.*, 2001). Además, “parte de la variación en la producción de fruta entre los cultivares se atribuye a dos factores: el contenido en hidratos de carbono diferentes partes de la planta (hojas, pecíolos, coronas y raíces) y la temperatura durante el crecimiento” (Wang y Camp, 2000).

La mayoría de los estudios sobre la función de las hormonas vegetales en la regulación del desarrollo de la fresa se basa únicamente en los efectos de aplicación exógena de las giberelinas, citoquininas y auxinas. Los efectos de otras hormonas han sido menos estudiados. La compleja regulación hormonal del desarrollo y maduración del fruto de fresa es poco conocida, si bien estudios recientes Kessel (2012) “manifiesta la intervención de 27 genes relacionados con la síntesis de hormonas; 14 relacionados con auxinas; tres en brasinoesteroides; dos en citoquinas; dos están relacionados con giberelinas; uno de la síntesis de ácido abscísico y cinco con el etileno”.

Influencia del ácido abscísico en la planta. El ácido abscísico (ABA) es una fitohormona relacionada con los procesos de maduración del fruto, la adquisición de tolerancia a la desecación y dormancia de la semilla. También es importante en el desarrollo de la planta, así como en la respuesta de esta al estrés biótico y abiótico. Además de esto, el ABA también parece estar implicado en el retraso del crecimiento detectado en plantas sujetas a condiciones de estrés hídrico a través de la restricción de la producción de etileno. “Es admisible que esta interacción hormonal sea relevante en otras respuestas a estreses de plantas en las que se encuentre envuelto el etileno” (Sharp, 2002). “Además, el ABA controla ciertas funciones fisiológicas en situaciones normales de la planta, como transporte y acumulación de K⁺ en las raíces de plantas superiores, regula la actividad del canal de K⁺ en el maíz y las raíces de *Arabidopsis*” (Roberts y Snowman. 2000). “Otra investigación mostró que las plantas deficientes en ABA muestran un fenotipo anormal, incluso en condiciones de buen riego” (Wasilewska *et al.*, 2008).

Leskovar *et al.*, (2008) “demostraron que los antitranspirantes que forman una película para mitigar la sequía, el ABA exógeno podría ser un regulador del crecimiento vegetal, para acondicionar el trasplante de alcachofa soportando condiciones de estrés de sequía temporales”. Agehara y Leskovar, (2012) “citan un estudio en plántulas recién trasplantadas de *Cucumis melo* L: encontrando que la aplicación de ABA mejoró el potencial hídrico foliar y contenido relativo de agua, al tiempo que reduce las fugas de electrolitos”.

Por consiguiente, la hipótesis central, de este documento se basa; que los niveles en contenido de almidón tanto en raíces como en coronas del cultivo de la fresa es afectada por aplicaciones de ácido abscísico y un antitranspirante en plantas de *Fragaria x ananassa Duch.*, cv Primoris.

METODOLOGÍA

Características generales del experimento

El experimento se llevó a cabo en una parcela al aire libre, en Valencia, España (Universidad Politécnica de Valencia), cuyas coordenadas son; 39° 38' N, 0° 22' W; la altura sobre el nivel de mar es de 10 m, se utilizó como material vegetal plantas de fresa del cv. "Promoris" que fueron obtenidas el 28/09/2012 del vivero situado en Guadix, España (37°13'21" N; 2°58'44" W; altura sobre nivel de mar 1103 m). La plantación se realizó el 02/10/2012 (excepto las del tratamiento Control +20 días que se plantaron 3 semanas después) a raíz desnuda en macetas de 14 cm (Ø).

Los tratamientos se agruparon de acuerdo con el siguiente grupo:

- Control: sin ningún tratamiento y cepellón
- Control+20 días: sin ningún tratamiento y plantado 20 días después de las restantes.
di-1-p-menteno: tratamiento foliar con una disolución de pinolene (Polímero terpénico) a una concentración del 1% efectuado a los 7 y 21 días desde la plantación.
- ABA45: tratamiento foliar con una disolución de ácido abscísico a una concentración de 45 µmol.L-1 efectuado 15 días antes de la plantación.
- ABA90: tratamiento foliar con una disolución de ácido abscísico a una concentración de 90 µmol.L-1 efectuado 15 días antes de la plantación.
- ABA135: tratamiento foliar con una disolución de ácido abscísico a una concentración de 135 µmol.L-1 efectuado 15 días antes de la plantación.

Teniendo en cuenta que las plántulas las cuales se aplicaron los tratamientos se trasplantaron a raíz desnuda.

Cada tratamiento tuvo asignadas 175 plantas (excepto Control y Pinolene que tenían 160), de las cuales 100 se destinaron a evaluar semanalmente el porcentaje de plantas muertas, en tanto que las 75 (60 para Control y Pinolene) restantes se emplearon para llevar a cabo muestreos periódicos de material vegetal. Las plantas se dispusieron en

la parcela en ocho filas, cada una de las cuales se dividía en tres tratamientos, regándose con un sistema de riego por microaspersión.

Análisis estadístico de los resultados

El planteamiento estadístico, consistió en un análisis factorial de la varianza (ANOVA) y análisis de separación de medias según el test LSD ($P \leq 0.05$) para cada parámetro, con el fin de determinar las diferencias estadísticamente significativas entre éstos. Los valores porcentuales se valorizarán con la transformación a coseno \sqrt{x} . Para el análisis estadístico se utilizó el programa Statgraphics Versión Centurión XVI.

Muestreo

En total se realizaron seis muestreos cada 21 días, desde el día de la plantación que se efectuó el primero (02/10/12, 23/11/12, 13/11/12, 27/12/12, 15/01/13), tomándose en cada uno de ellos 18 plantas al azar (15 en Control y Pinolene), en 3 repeticiones de 6 plantas (5 en control y pinolene). El día 24/10/12 se efectuó un conteo de plantas muertas, que se repitió hasta el final del ensayo en la semana previa a cada muestreo.

Manejo del material vegetal

En este experimento se procedió a separar las distintas partes de la planta: raíces, tallos y hojas (se unieron en un mismo grupo todas las raíces correspondientes a las cinco plantas de cada repetición y lo mismo se hacía con las coronas y las hojas).

Posteriormente las raíces se lavaron con agua corriente para eliminar los restos de sustrato que llevaba adheridos. A continuación, se separaron en distintas categorías: raíces principales viejas (las que traía la planta del vivero, de color pardo, eliminándose las que estuvieran muertas y que presentaban un color negro); raíces principales nuevas (de color crema); raíces secundarias nuevas (crecidas a partir de las raíces principales viejas y nuevas, de escaso grosor y de color crema). Una vez separadas se lavaron con agua destilada, se secaron con papel absorbente y se tomó el peso fresco de cada grupo. Después las raíces principales viejas y nuevas se introdujeron, por separado, en bolsas de plástico.

Las coronas se lavaron con agua corriente para eliminar la suciedad adherida, y se secaron con papel absorbente. Se tomó nota del número total y se obtuvo el peso fresco. A continuación, con un sacabocados, se extrajo el cilindro central de cada una de ellas y se tomó el peso fresco. Finalmente, se introdujeron en una bolsa de plástico.

Las bolsas que contenían las raíces y cilindros de la corona se llevaron a un

congelador a -80°C , para su posterior liofilización (proceso en el que se elimina el agua por congelación del producto húmedo y posterior sublimación del hielo en condiciones de vacío, no alterando su estructura físico-química).

Realizado el procedimiento de liofilización de las muestras y con ayuda de una balanza analítica se determinó el peso seco de raíces, hojas y cilindros de las coronas.

Determinación y valorización de almidón en raíces y coronas

Tras haber finalizado el manejo de las muestras descrito anteriormente se procedió a determinar y valorar el contenido de almidón en raíces y corona de flas. Este ensayo se realizó en el laboratorio del Departamento de Producción Vegetal de la Universidad Politécnica de Valencia el octubre de 2013 y se prolongó un total de trece semanas.

Materiales

En este apartado se describirán los materiales, productos y equipos necesarios para el desarrollo del experimento.

Para el correcto desarrollo de cada ensayo se utilizaron tubo de ensayo de $\varnothing = 18\text{ mm}$. También se emplearon tubos de microcentrífuga comúnmente denominados “eppendorf”. Para una correcta filtración se usaron filtros de membrana de $\varnothing = 45\mu\text{m}$ y cartuchos C-18.

Productos

Los procedimientos realizados requerían una serie de productos sintéticos, los cuales se mencionan a continuación.

- Etanol al 80 %

- Disolución de Lactosa

- TAMPÓN de pH 4.5 cuya composición es:

I. Solución de ácido acético 0.2 M (pureza 80%) $\pm 1.419\text{ml}/100\text{ml}$
(Pureza 99% $\pm 1.1775\text{ml}/100\text{ml}$)

II. Solución de acetato sódico 0.2 M $\pm 2.7216\text{g}/100\text{ ml}$

- Enzima Amyloglucosidasa

- Agua ultra pura (mQ)

Equipos.

En este subapartado se explicarán los equipos utilizados, tanto para la conservación del producto como para el desarrollo del experimento.

Para la conservación del material vegetal (raíces y cilindros de la corona) y de las muestras preparadas para los análisis, se utilizó un congelador (Thermo Scientific Revco® PLUS) a una temperatura programada de -80°C .

Para conferir una temperatura uniforme a las muestras y productos aplicados se empleó un baño maría (memmert. WNB 29).

Se utilizó una centrifugadora (Meditronic BL-S) y microcentrifugadora (Hettich Mikro 20) para una correcta sedimentación de los componentes de la muestra.

Para la dosificación de las disoluciones preparadas se usaron pipetas automáticas. Se empleó un Spedd Vac (Jouan RC 10-10) para la evaporación eficiente de los disolventes de las muestras concentradas.

Determinación del contenido en almidón

Para la determinación de almidón, el residuo sólido obtenido después de la extracción de azúcares con etanol, se diluyó con agua mQ hasta obtener un volumen de 6 ml. El material se esterilizó en autoclave durante 2 h a 130°C y a una presión entre 1.2 y 1.5 bares.

Los tubos autoclavados se centrifugaron 20 minutos a 4500 rpm, y el sobrenadante de cada muestra se niveló a un volumen de hasta aproximadamente 2 ml.

Posteriormente se añadieron 0.2 ml de lactosa de concentración 30 mg/ml, 0.5 ml de una solución tampón de acetato sódico a PH 4.5 (40% ácido acético 0.2M y 60% acetato sódico 0.2 M) y 1 ml de solución de enzima amiloglucosidasa de Rhizopus mold (Sigma Química) de concentración 60 mg/ml de agua mQ.

Durante 2 horas en un baño maría a 55°C se dejó actuar la enzima agitando cada 30 minutos, para hidrolizar el almidón en glucosa. Se centrifugó durante 30 minutos a 4500 rpm seguido se recogió el sobrenadante a tubos de $\varnothing = 18\text{ mm}$.

En un Speed-vac secamos hasta evaporar a gota. A continuación, se añadió a cada tubo 1 ml de agua mQ tibia para una correcta disolución y se transfirió el contenido de cada tubo a un microtubo eppendorff y, finalmente se centrifugaron durante 20 minutos a 12000 rpm.

Posteriormente se filtró el conjunto en filtros de membrana de $\varnothing = 45\mu\text{m}$ y con cartuchos C-18. Se inyectaron 20 μl de esta solución en un HPLC cuyas características se detallaron en apartado anterior, para cuantificar la glucosa liberada. Los resultados se expresaron en mg de glucosa liberada por g de materia seca.

Parámetros de producción

Los frutos se recolectaron manualmente, se separaron por categorías (Tabla 1)

en función a la presencia de deformaciones y peso. Obteniéndose los siguientes parámetros:

Producción comercial por m²

Peso medio de los frutos comerciales

Porcentaje de la producción comercial en peso

Se realizaron dos análisis en el cual el primero se trabajaron los datos de la producción precoz hasta 1^a quincena del mes de marzo, posteriormente realizándose un segundo análisis con los datos correspondientes de la producción final hasta la 2^a quincena de junio

Tabla 1. Categoría de los frutos según su peso

Tipo	Categoría	Peso de los frutos
	Primera	>13g
Producción comercial	Primera deformado	>13g
	Segunda	13g > peso >7g
	Segunda deformados	13g > peso >7g
Producción no comercial	No comerciales	7g > peso >3g
Abortos	Abortos	<3g

RESULTADOS

Mortandad de plantas

En los tratamientos se observó, que el retrasó de 20 días en la fecha de plantación produjo que el número de mortandad se redujera, alcanzándose con este tratamiento la menor mortandad de plantación con diferencias respecto al resto de tratamientos ($p < 0,05$). Por otra parte, el tratamiento ABA90 fue el tratamiento en el cual se produjo el mayor número de mortandad en comparación con el tratamiento C (plantadas en la misma fecha) con diferencias ($p < 0,05$). Por último, comentar que en los tratamientos restantes no se apreciaron diferencias significativas. Tabla 2.

La mortandad de plantas no fue muy divergentes entre los distintos tratamientos, existiendo el caso del tratamiento C que obtuvo el 91.98 % de plantas vivas. Los tratamientos ABA45 y ABA135 presentaron porcentajes muy similares de plantas vivas por lo cual no se encontraron diferencias estadísticas, entre ellos. El mayor porcentaje de plantas vivas se obtuvo en el tratamiento C+20 con diferencias ($p < 0,05$) con respecto al resto de tratamientos.

Tabla 2. Evaluación de la mortandad y porcentaje de plantas vivas en los distintos tratamientos

Tratamiento	Mortandad de plantación (%)	Plantas vivas (%)
C	11.60 b	91.98 b
C+20	0.80 a	99.52 a
Pinolene	10.40 b	92.82 b
ABA45	11.60 b	92.50 b
ABA90	23.00 c	85.36 c
ABA135	9.80 b	93.74b

Letras distintas en la misma columna, indican diferencias e.s. según el test LSD ($P \leq 5$).
 C: control. (Trasplante: 02/10/12). C+20: trasplante 20 días después de C. Pinolene: di-1-p-menteno al 1%. ABA45: ácido abscísico a 45 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. ABA90: ácido abscísico a 90 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. ABA135: ácido abscísico a 135 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. La fecha de trasplante del resto de tratamientos fue el 02/10/12.

La mortandad de plantas de fresa a raíz desnuda se vio igualada en casi todos los tratamientos, debido al tipo de modelo de trasplante utilizado como se ha mencionado anteriormente, al no tener un sistema radicular bien desarrollado tienen una limitada capacidad de absorción de agua. Esto coincide con lo constatado por Gutiérrez *et al.*, (2010) “donde se corroboró que al realizar el trasplante a raíz desnuda y aplicar un riego hasta dos horas después, no expone la integridad de la planta, con 95% de certidumbre”. Es conocido el efecto del ABA aplicado una vez realizado la plantación, con lo que se consigue una mejora en el comportamiento de las plantas tras el trasplante, en estudios realizados por Shinozaki *et al.*, (2003) “demostraron, que la planta en condiciones adversas como sequía, salinidad y bajas temperaturas, se adaptan a estas tensiones por procesos bioquímicos y fisiológicos”. De acuerdo con los resultados de este estudio las aplicaciones de ABA, no tuvieron un efecto importante al evaluar el nivel de mortandad. Con los resultados obtenidos, las plantas tratadas con Pinolene, obtuvieron un 92.82% de plantas vivas en cambio las plantas tratadas con ABA135 registraron un 93.74% (no existiendo diferencias estadísticas), coincidiendo así con lo obtenido por Leskovar *et al.*, (2008) “donde en plantas de tomate tratadas con ABA, estas mejoraron y fueron superiores a los antitranspirantes, evidenciando que el ácido abscísico es una herramienta fisiológica para mitigar los efectos negativos del estrés del trasplante y mejorar establecimiento de las plantas”.

Contenido de almidón

En los análisis realizados para el estudio del nivel de almidón en raíces viejas, se observó que los tratamientos, no tuvieron repercusión en el nivel de almidón registrado (Gráfico 1) Por otra parte la concentración de almidón en las raíces ha sido sensiblemente mayor en el caso de las plantas tratadas con ABA45 en el 4° muestreo, día 63 (Gráfico 2). En la evaluación en el contenido de almidón en raíces nuevas, no se apreciaron diferencias estadísticas, entre los distintos tratamientos. De igual manera en el muestreo en el día 63 en plantas tratadas con ABA135 el almidón en las raíces nuevas ha sido sensiblemente mayor. Por último, en el nivel de almidón en coronas ocurre lo mismo que en el contenido de almidón en raíces, es decir en los tratamientos no se han apreciado diferencias significativas, llegando a apreciar que en el 5° muestreo (día 84), los cilindros de coronas tratados con el tratamiento ABA45 el contenido en almidón ha sido sensiblemente mayor (Gráfico 3). Los tratamientos realizados con ABA no han tenido influencia en los niveles de almidón en raíces y coronas.

Gráfico 1. Evolución del contenido de almidón en raíces principales viejas

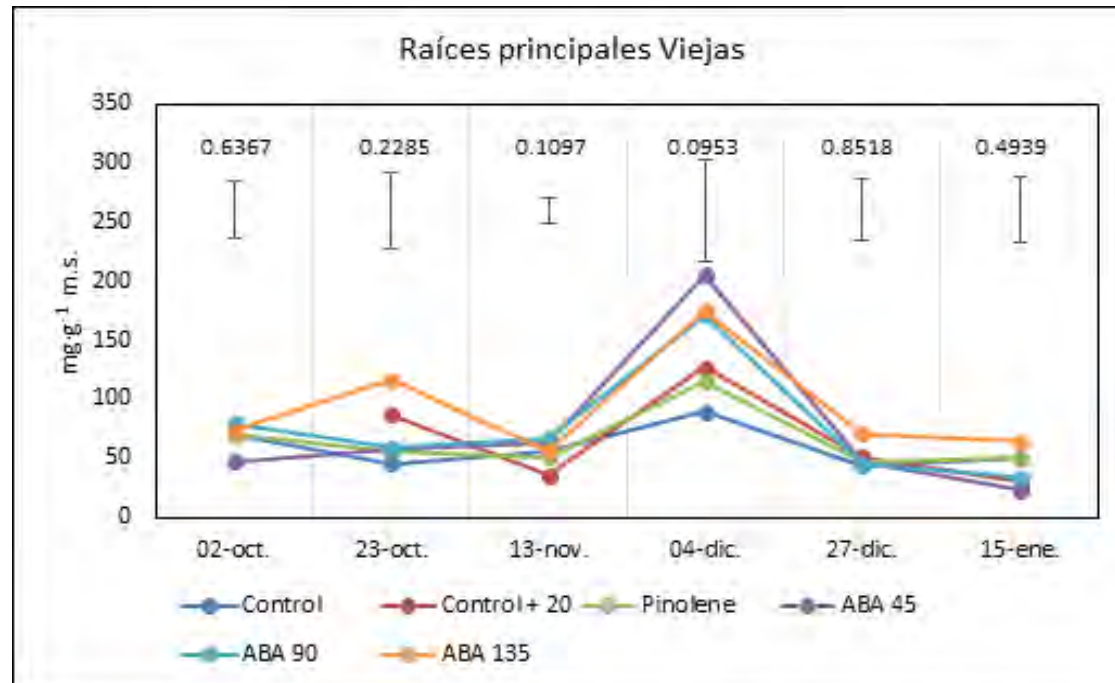


Gráfico 2. Evolución del contenido de almidón en raíces principales nuevas

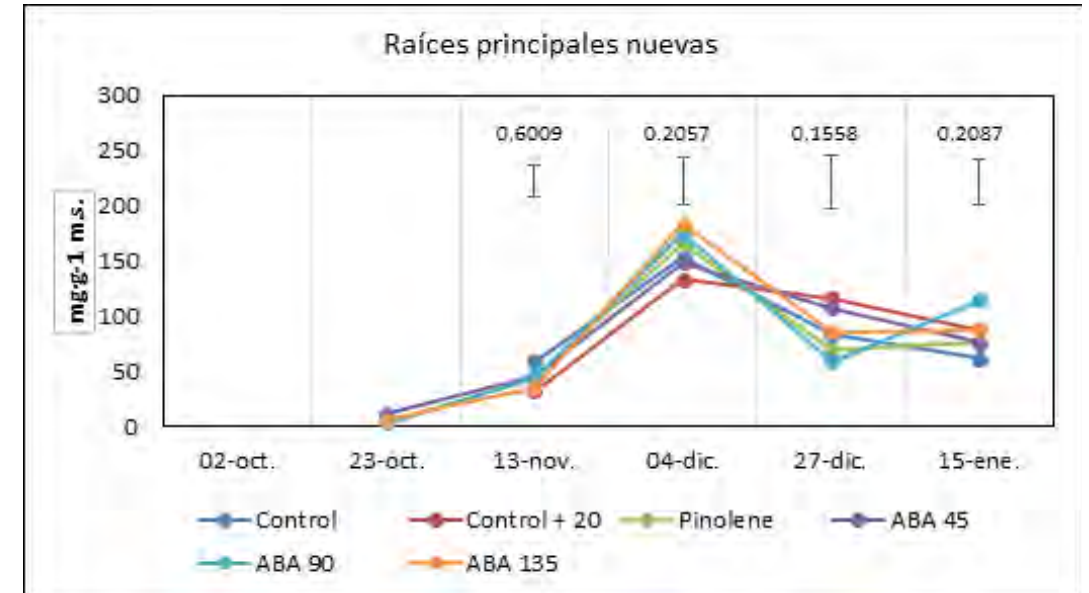
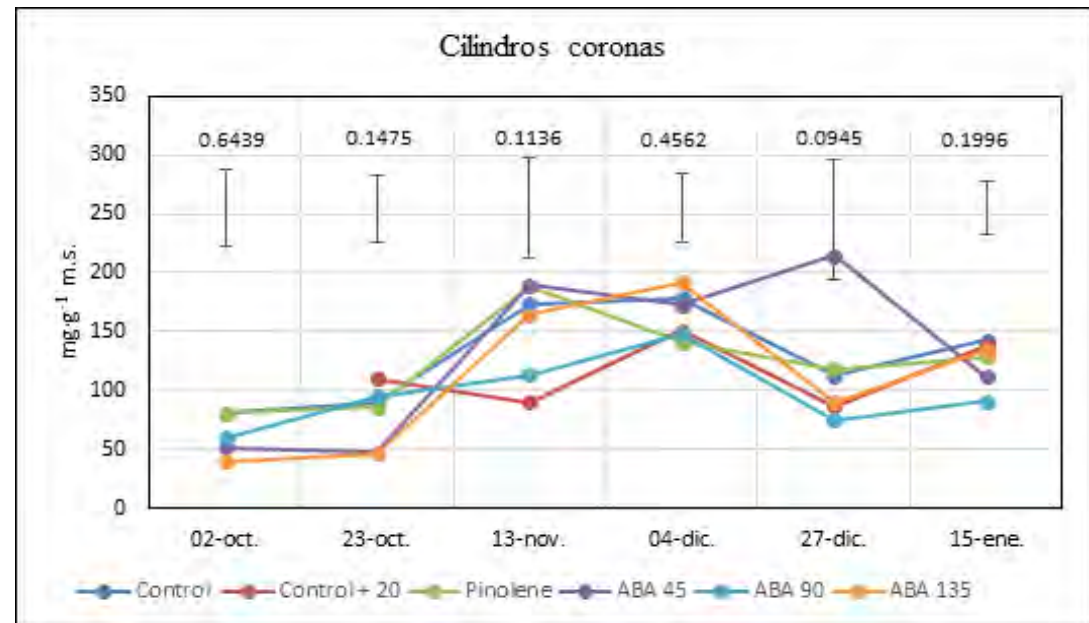


Gráfico 3. Evolución del contenido de almidón en coronas de fresa



Black *et al.*, (2006) “citan que el ABA está asociado en la regulación de la síntesis y acumulación azúcares de reserva”. Sin embargo, de acuerdo con nuestro estudio, la aplicación de distintas concentraciones de ABA no parece tener un efecto claro sobre un mayor contenido de almidón. “Las plantas de fresa son capaces de acumular almidón, aun en ausencia de frío, pero para alcanzar niveles importantes de reservas es necesario un número importante de horas frío” (Maas, 1987). En el presente experimento un retraso en la fecha de arrancado de plántulas ha incrementado en los niveles de almidón esto podría estar relacionado con una mayor incidencia de horas frío, aunque no se tiene de los registros de las temperaturas.

Producción comercial por planta

En términos generales, se registraron pocas diferencias significativas. El tratamiento con el cual se consiguió la mayor producción comercial por planta en la primera fecha de registro (Tabla 3), fue en las tratadas con ABA45 con diferencia estadística ($p < 0,05$), los demás tratamientos, no difirieron estadísticamente del tratamiento ABA90. Sin embargo, en la segunda fecha de (Tabla 4) todos los tratamientos se encontraron igualados y no se obtuvieron diferencias estadísticas, siendo los controles los que obtuvieron la menor producción.

Producción comercial por metro cuadrado

Se ha constatado que las plantas tratadas con ABA90 y ABA135 y las plantas trasplantadas con cepellón llegaron a obtener la mayor producción comercial por metro cuadrado en comparación con sus tratamientos control, obteniéndose diferencias estadísticas ($p < 0,05$). Estos resultados se obtuvieron en la producción precoz y en la producción final.

Peso medio de los frutos comerciales

En relación al peso medio de los frutos comerciales de la producción final, se puede observar que las plantas trasplantadas con cepellón obtuvieron el valor más bajo; por el contrario, el mayor peso medio de los frutos comerciales se obtuvo en las plantas del C+20 y los tratamientos con las distintas concentraciones de ABA en especial al tratamiento ABA90 constándose diferencias estadísticas ($p < 0,05$), respecto a su control. Por último, señalar que el tratamiento ABA90 alcanzó el mayor valor referente al peso medio de la producción precoz aunque en estos datos no se registraron diferencias significativas, debido fundamentalmente al mayor peso del residual, en relación con la variabilidad total (49.3%).

Porcentaje de la producción comercial en peso

En general se registraron pocas diferencias tal y como ocurrió en el parámetro anterior. El mayor porcentaje de la producción comercial final se dio en las plantas tratadas con ABA, y en las plantas C+20, con diferencia estadística respecto a las plantas Ce ($p < 0,05$). Los porcentajes de producción comercial fueron muy altos con valores superiores al 90% a lo largo del ciclo, con diferencias máximas de 5.2%.

Con respecto al porcentaje de la producción comercial precoz (Tabla 3) no se registraron diferencias estadísticas, aunque cabe señalar que el menor valor lo obtuvo en las plantas trasplantadas con cepellón. La variabilidad del residual respecto a la variabilidad total fue muy elevada (53.2%)

Estudios realizados por Romero *et al.*, (2013) “en naranja ‘Navelate’ (*Citrus sinensis* L. Osbeck) el ABA exógeno, no modificó significativamente ($P \leq 0.05$) la pérdida de peso de los frutos sometidos a estrés hídricos” coincidiendo con los resultados obtenidos, donde las distintas concentraciones de ABA no repercutieron en el peso medio de los frutos comerciales.

Tabla 3. Producción precoz (1ª quincena de marzo)

Tratamiento	Número de frutos comerciales por planta	Producción comercial por planta (g)	Producción comercial por m ² (g)	Peso medio de los frutos comerciales (g)	Porcentaje de la producción comercial en peso (%)
Factor					
C	8.9	126.9 b	616.8 c	14.3	91.3
C+20	10.2	134.8 b	670.3 bc	13.2	91.1
ABA45	13.2	217.7 a	967.5 b	14.6	94.1
ABA90	11.5	171.2 ab	1440.9 a	14.9	93.4
ABA135	11.2	164.8 b	1387.6 a	14.7	92.7
Ce	11.7	157.8 b	1328.9 a	13.5	89.8

Letras distintas en la misma columna, indican diferencias e.s. según el test LSD ($P \leq .5$).

Tabla 4. Producción final (2ª quincena de junio)

Tratamiento	Número de frutos comerciales por planta	Producción comercial por planta (g)	Producción comercial por m ² (g)	Peso medio de los frutos comerciales (g)	Porcentaje de la producción comercial en peso (%)
C	52.0 ab	679.9	3275.2 bc	13.1 ab	91.3 ab
C+20	48.5 b	646.2	3217.5 c	13.3 a	93.1 a
ABA45	62.0 a	830.2	4139.4 b	13.3 a	93.1 a
ABA90	60.8 a	819.1	6895.9 a	13.5 a	92.3 a
ABA135	60.2 a	816.1	6870.4 a	13.6 a	92.6 a
Ce	61.2 a	749.5	6309.8 a	12.3 b	87.9 b

Letras distintas en la misma columna, indican diferencias e.s. según el test LSD (P≤. 5).

CONCLUSIONES

El tratamiento ABA135 y el tratamiento Pinolene han conseguido disminuir el nivel de mortandad de plantas, con respecto a su control. Sin embargo, al retrasarse la fecha de plantación (20 días) dicho efecto no se ha constatado. Los tratamientos realizados con ABA no han tenido influencia en los niveles de almidón en raíces y coronas respecto a sus controles. Referente a la producción precoz y final, los parámetros productivos han resultado ser más altos en las plantas tratadas con ABA45 en comparación a su control.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agehara, S. y Leskovar, D. (2012). *Characterizing concentration effects of exogenous abscisic acid on gas exchange, water relations, and growth of muskmelon seedlings during water stress and rehydration*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 137:400–410.
- Banaeian, N., Omid, M., y Ahmadi, H. (2011). *Energy and economic analysis of greenhouse strawberry production in Tehran province of Iran*. Energy Conversion Manage., 52: 1020-1025.
- Black, M., Bewley, J., y Halmer, P. (2006). *The Encyclopedia of Seeds-Science, Technology and Uses*; CABI: Wallingford, UK, p. 354.

Gutiérrez, V., Serwatowski, H., y Cabrera S. (2010). *Evaluation of water stress on bare-root strawberry plants*. Rev., Mex. Cienc. Agric, Vol.1, No.3, p 439-444. ISSN 2007-0934.

Guttridge, C., y Anderson, H. (1975). *The relationship between plant size and fruitfulness in strawberry in Scotland*. Horticulture Research 13: 125-135.

Kessel, D. (2012). *Revisión bibliográfica. Mejora genética de la fresa (Fragaria ananassa Duch.), a través de métodos biotecnológicos*. Cultivos Tropicales 33(3): 34-41.

Strand L. L. (2008). *Integrated Pest Management for Strawberries*. Publication 3351. University of California State-wide IPM Project, Division of Agriculture and Natural Resources.

Leskovar, D., Goreta, J., Jifon, S., Agehara, T. Shinohara y Moore, D. (2008). *ABA To enhance water stress tolerance of vegetable transplants*. Acta Horticulture, 782: 253–264.

Lieten, F., Kinet, J., y Bernier, G. (1995). *Effect of pro-longed cold storage on the production capacity of strawberry plants*. Scientia Horticulture 60: 213–219.

López -Aranda, J. (2008). *El cultivo de la fresa en Huelva*. En: *La fresa de Huelva*. Ed. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.

Maroto, J. (2002). *Horticultura Herbácea Especial*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid 702 pp.

Maas, J. (1987). *Photoperiod, temperature effects on starch accumulation in strawberry roots*. Advances in strawberry production. 5:6-22.

Medina, J. (2003). *Evaluación agronómica de la adaptación de variedades de fresa (Fragaria x ananassa Duch.) a diferentes ambientes culturales*. Tesis Doctoral. Universidad de Huelva, Enero 2003.

Roberts, S., & Snowman B. (2000). *The effects of ABA on channel-mediated K (1) transport across higher plant roots*. J. Exp. Bot. 51: 1585 – 1594.

Romero, P., Rodrigo, M., y Lafuente M. (2013). *Regulación del sistema de percepción del ácido abscísico (ABA) durante la deshidratación poscosecha de los frutos cítricos*. Horticultura. <http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/104163->

[Regulacion-sistema-percepcion-acido-abscisico-\(ABA\)-durante-deshidratacion-poscosecha.html](#)

- Sharp R. (2002). *Interaction with ethylene: changing views on the role of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress*. Plant Cell Environ. 25:211-222
- Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., y Seki, M. (2003). *Regulatory network of gene expression in the drought and cold stress responses*. Curr Opin Plant Biol. 6:410-417.
- Stapleton, S., Chandler, C., Legard, D., y Price, J., Sumler, J. (2001). *Transplant source affects fruiting performance and pests of 'Sweet Charlie' strawberry in Florida*. Horticultural Technology 11: 61-65.
- Wang, S., y Camp, M. (2000). *Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry*. Sci. Hortic. 85,183-199.
- Wasilewska A., Vlad F., Sirichandra C., Redko Y., James F., Valon C., Frey N., y Leung J. (2008). *Update on abscisic acid signaling in plants and more*. Vol. 1. Molecular Plant; pp. 198–217.

Capítulo IV

ESTUDIO DE INTERCEPCIÓN DE LLUVIA EN BOSQUES DE OYAMEL (*Abies religiosa* (Kunt) Schltdl. & Cham.)

Eulogio Flores Ayala¹; Ramiro Pérez Miranda²; Fernando Carrillo Anzures¹;
Enrique Buendía Rodríguez¹

¹ Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. flores.eulogio@inifap.gob.mx, buendia.enrique@inifap.gob.mx, carrillo.fernando@inifap.gob.mx
² Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. perez.ramiro@inifap.gob.mx

RESUMEN

Se presentan resultados de medir las cantidades de lluvia que intercepta el bosque de oyamel, localizado en la cuenca Río Texcoco, estado de México. Se estableció una parcela de 1.0 ha, en bosques de alta montaña ubicado a una de altitud promedio de 3,000 msnm. Se realizaron mediciones dendrométricas de cada árbol a partir de 7.5 cm de diámetro normal. Durante el año 2009, se realizaron mediciones de precipitación, determinándose cantidades de precipitación total y su distribución en ese periodo de lluvia. Para las mediciones de precipitación total, se emplearon dos pluviómetros ubicados fuera de cada parcela. Para las mediciones de intercepción, se utilizaron 75 pluviómetros distribuidos aleatoriamente bajo dosel, registrándose por evento. El procedimiento para expresar la cantidad de lluvia interceptada por el dosel fue mediante la diferencia entre la precipitación total medida en condiciones abiertas sin arbolado y el promedio general obtenido del volumen del agua de los 75 pluviómetros localizados bajo el dosel para cada evento de lluvia a la cual se le denominó *lluvia directa*. Las cantidades de lluvia interceptada, se expresaron en porcentaje, siendo para este tipo de bosque del 26.1%. Adicionalmente, se generó un modelo estadístico no lineal de la relación: precipitación total (mm) - lluvia interceptada (%).

Palabras Clave: Dosel, *Abies*, Río Texcoco, modelo estadístico

ABSTRACT

Results are presented to measure the amounts of rainfall intercepted by the fir forest, located in the Texcoco river basin, state of México. A plot of 1.0 ha was established, in high mountain forests located at an average altitude of 3,000 m asl. Measurements were made of each tree from 7.5 cm of diameter at breast height. During the year 2009, precipitation measurements were made, determining amounts of total precipitation and their distribution in that rainy period. For total precipitation measurements, two rain gauges were used located outside each plot. For intercept measurements, 75 rain gauges were used randomly distributed under canopy, registering by event. The procedure to express the amount of rain intercepted by the canopy was by the difference between the total rainfall measured in open conditions without trees and the overall average obtained from the water volume of the 75 rain gauges located under the canopy for each rainfall event which was called *direct rain*. The quantities of rain intercepted were expressed in percentage, being for this type of forest of 26.1%. In addition, a non-linear statistical model of the relationship was generated: total precipitation (mm)-intercepted rainfall (%).

Key words: Canopy, fir forest, Texcoco river, statistical model

INTRODUCCIÓN

Durante un evento de lluvia, no toda el agua llega al piso del bosque, una parte es retenida por los componentes de la vegetación, i. e. hojas, ramas, fuste, y otra es regresada a la atmosfera como evaporación; a la cantidad de lluvia que es retenida de manera temporal se le define como intercepción de lluvia. Desde el punto de vista hidrológico-forestal, se debe tener en cuenta que la alteración de la cubierta vegetal a través de manejo silvícola o bien las perturbaciones naturales afectará el proceso de intercepción, y consecuentemente el equilibrio hídrico de un bosque. Es muy variable la cantidad de agua que alcanza el piso forestal. En bosques densos, esta cantidad de lluvia es capturada/atrapada en hojas, ramas y fuste de los árboles y la magnitud depende de la forma, tamaño, densidad y textura de las hojas, ramas y ramillas y otras superficies (Dunne and Leopold, 1978), así como del tipo de bosque y factores climáticos (Crockford y Richardson, 2000) e influenciada por la estructura del dosel (Aston, A.R.; 1979; Holder, 2013; Pypker *et al.*, 2005). De manera común, la cantidad de agua interceptada y evaporada se estima calculando la diferencia entre la precipitación bruta (arriba del dosel) y la precipitación neta (bajo dosel) (Aussenac, 1981; Liu *et al.*, 2013). En los bosques templados la pérdida por intercepción

oscila entre el 9% y el 48% de la precipitación bruta (Pypker *et al.*, 2005). El proceso de medir la intercepción de lluvia es complejo, entre otras, por la alta variabilidad espacial que existe en los bosques, procedimientos y equipo para su medición (Bruijnzeel, *et al.* 2006; Dunne y Leopold, 1978).

Los diversos componentes del proceso de intercepción de las lluvias se han medido y modelado para muchos tipos de vegetación, con especial énfasis en los rodales forestales (Návar, 2011; Návar, 2013; Návar, 2017). Aun cuando estos estudios de medición de la intercepción han sido ampliamente estudiados, resulta conveniente reconocer importancia de los modelos de intercepción de lluvias para predecir los efectos de los cambios en la cobertura vegetal en los recursos hídricos (David *et al.*, 2005; Návar, 2013). Adicionalmente de permitir la extrapolación de los resultados de las mediciones tanto en el espacio como en el tiempo, los modelos de intercepción también proporcionan información sobre los mecanismos del proceso de intercepción por la vegetación arbórea y de los atributos que controlan estos procesos (David *et al.*, 2005; Návar *et al.*, 2008). Para el caso de México, Flores *et al.* (2011) presentan una recopilación de los trabajos, en el tema de intercepción, reportados hasta el año 2007, destacando sus aportes por tipo de comunidad arbórea. El objetivo de este trabajo es estimar la cantidad de agua que captura el bosque de *Abies religiosa* (Kunt) Schltdl. & Cham. y generar un modelo estadístico de la relación: precipitación total – porcentaje de intercepción.

METODOLOGÍA

Durante el año 2009, en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), se generó una línea de investigación, orientada al estudio de la intercepción del agua de lluvia por la cobertura arbórea en bosques de clima templado frío. Una de las especies seleccionadas es *Abies religiosa* (Kunt) Schltdl. & Cham. estableciendo un sitio de investigación localizado a 3,000 m snm, en la cuenca Río Texcoco, Estado de México. El área de estudio consistió en una parcela de 1.0 ha (100 x 100 m) en donde se tomó información de campo de las especies arbóreas dominantes. La vegetación dominante del estrato arbóreo y sotobosque fue identificada mediante colectas botánicas, la cual fue realizada en el Herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Para el arbolado, se realizaron mediciones de variables dendrométricas: diámetro a la altura del pecho, con aproximación al centímetro, altura total y altura de fuste limpio. Además, se realizó la ubicación a detalle de cada árbol y de los pluviómetros, dentro de cada parcela, con aproximación al decímetro utilizando coordenadas cartesianas. Adicionalmente, se tomaron mediciones del desnivel del terreno, para generar su relieve.

Para conocer la cantidad de *precipitación total anual* y su distribución, se tomaron mediciones de la precipitación diaria, en condiciones abiertas. Para la medición de la cantidad de *lluvia interceptada*, dentro de la superficie de la parcela, se dispuso de una distribución aleatoria de 75 pluviómetros de lectura directa (Tru-Chek®), esto es, bajo el dosel arbóreo. La graduación de los pluviómetros es con una precisión de 0.1 mm, y fueron colocados en una estaca a una altura de 0.9 m sobre el nivel del piso para evitar el efecto de salpicado (Prasad *et al.*, 2017) (Figura 1).

Figura 1. Características del área de investigación y del equipo de medición de lluvia



El procedimiento para expresar la cantidad de lluvia interceptada, fue mediante la diferencia entre la precipitación total medida en condiciones abiertas y el promedio general obtenido del volumen del agua de los pluviómetros localizados bajo el dosel para cada evento de lluvia (Xiao *et al.*, 2000 y Sadeghi *et al.*, 2015). Sin desconocer su importancia, en este estudio no se cuantificó el escurrimiento fustal, dado que éste generalmente representa un bajo porcentaje del componente de interceptación (Levia y Germer, 2015; Asadian y Weiler, 2009).

Con el fin de correlacionar estadísticamente los valores de precipitación y de interceptación, se ajustaron, mediante análisis de regresión, modelos no lineales (Hosseini *et al.* 2012; Sadeghi *et al.*, 2015). Los criterios de selección de los mejores modelos ajustados incluyeron el coeficiente de determinación y significancia de los parámetros de regresión. El análisis estadístico se realizó en el programa SAS® (SAS, 2007).

RESULTADOS

Características de sitio, precipitación media anual y vegetación dominante

Las características generales, y su localización, se reportan en la Tabla 1. En esta tabla, se presenta información sobre la especie dominante, localidad, paraje, altitud y el año en que se realizó el estudio.

Tabla 1. Localización del módulo de investigación y año de establecimiento.

Localización	Paraje	Coordenadas	Año de establecimiento
Ejido forestal de San Pablo Ixayoc, Texcoco Estado de México.	Atlapulco: 3,000 m snm	19° 26' 16.92'' 98° 45' 40.81''	2009

En la Tabla 2 se muestran las características dasométricas de la vegetación dominante en la parcela de investigación. Los valores se muestran por especies dominantes.

Tabla 2. Características dasométricas de la vegetación presente.

MÓDULO	Número de árboles/ ha	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)	Área basal (m ² /ha)
<i>Abies religiosa</i> (oyamel)	315	31.83	24.22	32.36
<i>Garrya laurifolia</i> (aguacatillo)	36	14.28	8.01	0.62
<i>Quercus rugosa</i> (encino)	10	20.35	13.55	0.34
<i>Cupressus lindleyi</i> (cedro)	4	33.75	12.87	0.49
<i>Prunus serotina</i> Sub. (capulín)	3	15.17	11.16	0.06
<i>Pinus sp</i>	1	37.50	26.00	0.11
Total	369	29.60	22.10	33.98

Se midieron 74 eventos de precipitación e indican una precipitación acumulada anual 707.70 mm con rangos de variación por evento de 0.2 – 33 mm. Se presentó un dato atípico (62 mm).

Medidas de Intercepción de lluvia

El procedimiento de cálculo consistió en medir la cantidad de lluvia interceptada tomando la diferencia entre la *precipitación total* medida en condiciones abiertas y el promedio general obtenido del volumen del agua contenido en los pluviómetros localizados bajo dosel, para cada evento de lluvia, expresada como porcentaje de la precipitación total.

$$I = P_t - P_{bd}$$

Donde;

I = Cantidad de lluvia interceptada

P_t = Cantidad de precipitación total medida en áreas aledañas sin vegetación

P_{bd} = Cantidad de precipitación medida bajo dosel

Se obtuvieron los siguientes resultados. Estos valores se reportan en porcentaje (Tabla 3).

Tabla 3. Resultado de las medidas de intercepción para el bosque de Oyamel

Módulo	Año	Altitud (m snm)	Precipitación Total Anual (mm)	No. de Eventos de lluvia medidos	Intercepción (%)
Oyamel	2009	3,000	707.70 *	74	26.1

* Periodo de toma de datos: 22 mayo al 30 de septiembre.

El porcentaje de lluvia interceptado, indica la cantidad de lluvia que se “pierde” por evaporación al ser interceptada/retenida por la cobertura arbolada.

Generación del modelo de intercepción

De acuerdo con la dispersión de puntos de la relación precipitación total contra porcentaje de intercepción, y con el fin de correlacionar estadísticamente, estas cantidades de intercepción, se realizó una regresión no lineal utilizando el procedimiento PROC GLM de SAS®.

Se ensayaron modelos de tipo logarítmico y exponencial (Scatena, 1990; Hosseini *et. al.*, 2012; Sadegi *et. al.*, 2015).

$$y = a \text{Ln}X + b$$

$$y = a X^{-b}$$

donde:

y = Intercepción de lluvia bajo dosel, expresada en porcentaje

X= Precipitación total (en abierto), expresada en mm

Ln= logaritmo natural

a, b = coeficientes de regresión

Para el análisis estadístico, se utilizó el procedimiento PROC GLM de SAS®.

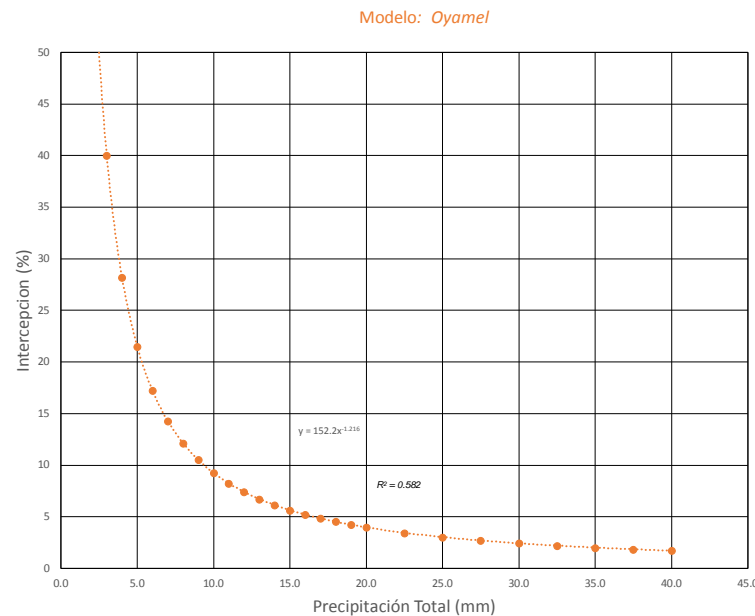
El modelo obtenido fue el siguiente (Tabla 4):

Tabla 4. Modelo estadístico obtenido para el bosque de oyamel

Módulo	Modelo	Coefficiente de determinación
Oyamel	$y = 152.2 X^{-1.216}$	$R^2 = 0.5815$

A continuación, se muestra de manera gráfica el comportamiento del modelo generado, ajustándose a un modelo exponencial negativo de la relación porcentaje de intercepción como función de la precipitación total (Figura 2).

Figura 2. Comportamiento gráfico del modelo de regresión obtenido para *Abies religiosa* (Kunt) Schltdl. & Cham.



La figura anterior muestra el comportamiento gráfico de la intercepción de lluvia como función de la precipitación total, que refleja una parte de la condición o estructura del bosque en cuanto a las características silvícolas de esta especie. Por una parte, esta especie tiende a formar masas de mayor densidad dado su hábito de mantener una gran proporción de índice de área foliar a lo largo del fuste dando por resultado que las cantidades de retención de agua de lluvia sean mayores respecto a otras especies, como los pinos. Lo anterior explica por qué la intercepción en *Abies* sea mayor aun en bajos valores de precipitación total, situación que se refleja en el resultado obtenido.

Al analizar los porcentajes de intercepción de lluvia, se observa que son congruentes con los valores obtenidos en otros bosques templados (Aussenac, 1981), siendo, estos resultados consistentes con investigaciones en el tema, en términos del comportamiento de los modelos de intercepción (Hosseini *et al.*, 2012; Sadeghi *et al.*, 2015).

Es importante resaltar que los resultados del presente estudio sugieren que otras variables como la densidad (Kittredge, 1948; Torres-Rojo, 2014) o la estructura del bosque (Gadow, *et al.*, 2011), aquí no analizadas, participan de manera importante en el proceso de intercepción de lluvia, dada por la estrecha dependencia de los atributos del arbolado, su distribución espacial y las características del dosel.

CONCLUSIONES

La metodología propuesta permitió la generación de resultados establecidos en el objetivo, lográndose obtener un modelo que describe adecuadamente los valores y comportamiento de la intercepción de lluvia para esta especie. Las características evaluadas permiten, mediante el modelo generado, el pronóstico de los efectos de la cubierta vegetal sobre el ingreso del agua de lluvia, en el piso forestal, en la zona de estudio.

De acuerdo con los parámetros estadísticos encontrados en los modelos de intercepción que se ensayaron, se deduce que otras variables del bosque, pudieran incorporarse al análisis en la modelación del proceso de intercepción de lluvia.

Agradecimientos

Los autores desean hacer patente su agradecimiento a las autoridades ejidales de la comunidad de San Pablo Ixayoc, municipio de Texcoco, Estado de México por su apoyo y las facilidades de acceso a sus bosques, para la realización del presente trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aston, A.R. (1979). Rainfall interception by eight small trees. *Journal of Hydrology* 42: 383-396.
- Asadian Y. and Weiler M. (2009). A New approach in measuring rainfall Interception by urban trees in coastal British Columbia. *Water Qual. Res. J. Can.* 44 (1): 16-25.
- Aussenac G. (1981). L'interception des précipitations par les peuplements forestiers. *La Houille blanche* (7-8): 531-536 p.
- Bruijnzeel, S. L., Eugster, W. and Burkard, R. (2006). Fog as a Hydrologic Input. In *Encyclopedia of Hydrological Sciences* (eds M. G. Anderson and J. J. McDonnell). doi:10.1002/0470848944.hsa041

- Crockford R. H. and Richardson D.P. (2000). Partitioning of Rainfall into Throughfall, and Interception: Effect of Forest Type, Ground Cover and Climate. *Hydrological Processes* 14: 2903-2920.
- David, J., F. Valente and J. Gash. (2005). Evaporation of intercepted rainfall. In: Anderson, M. (Ed.), *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. John Wiley and Sons. Ltd. pp. 627–634.
- Dunne T. and Leopold L. B. (1978). *Water in Environmental Planning*. W. H. Freeman Co., New York, 818 p.
- Flores, A., Becerra, L., Buendía, R., Carrillo A. y Acosta M. (2011). Intercepción de lluvia por vegetación forestal. Estado actual de la investigación en México e Hidalgo. *Aportes para el desarrollo del estado de Hidalgo*. Vol.1 Agua y Medio Ambiente. Ed. Miguel Ángel Porrúa. 151-166.
- Gadow, K. v., Zhang, C.Y., Wehenkel, C., Pommerening, A., Corral-Rivas, J., Korol, M., Myklush, S., Hui, G.Y., Kiviste, A. and Zhao, X.H., (2011): Forest Structure and Diversity. In: Pukkala, T. and Gadow, K. v. (eds.): *Continuous Cover Forestry, Book Series Managing Forest Ecosystems* Vol. 24, Springer Science -Business Media. 29-84.
- Hosseini G. B., S.M., P. Attarod, V. Bayramzadeh, M.T Ahmadi and A. Radmehr. (2012). Throughfall, stemflow, and rainfall interception in a natural pure forest of chestnut-leaved Oak (*Quercus castaneifolia* C.A. Mey.) in the Caspian Forest of Iran. *Ann. For. Res.* 55(2): 197-206
- Holder, C.D. (2013) Effects of leaf hydrophobicity and water droplet retention on canopy storage capacity. *Ecohydrology* 6: 483-490.
- Kittredge, J. (1948). Forest influences. The effects of woody vegetation on climate, water, and soil, with applications to the conservation of water and the control of floods and erosion. *Dover Publications*, Inc. NY. 349 p.
- Levia, D. F. and Germer S. (2015). A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands, *Rev. Geophys.*, 53, 673–714, doi:10.1002/2015RG000479
- Liu, G., Du S., Peng S. and Wang G. (2013). Rainfall interception in two contrasting forest types in the Mount Gongga Area of Eastern Tibet, China. *Hydrology Current Research*. 4 (4), 161
- Návar Ch., Méndez G. y González R. (2008). Intercepción de la lluvia en especies de leguminosas del nordeste de México. *Terra Latinoamericana* 26 (1), 61-68
- Návar J. (2011). Stemflow variation in Mexico’s northeastern forest communities: Its contribution to soil moisture content and aquifer recharge. *Journal of Hydrology*. 30, 35-42.
- Návar, J. (2013). The performance of the reformulated Gash’s interception loss model in Mexico’s northeastern temperate forests. *Hydrological Processes*. 27, 1626-1633.
- Návar J.. (2017). Fitting rainfall interception models to forest ecosystems of Mexico. *JOURNAL OF HYDROLOGY*. 548, 458-470
- Prasad Ch., Adrian G., Bruijnzeel M., Lubczynski, M. Ravelona, B., Zwartendijk, H. and van Meerveld. (2017). Measurement and modeling of rainfall interception by two differently aged secondary forests in upland eastern Madagascar. *Journal of Hydrology* 545, 212-225.
- Pypker T.G., Bond B.J., Link T.E., Marks D. and Unsworth M.H. (2005) The Importance of Canopy Structure in Controlling the Interception Loss of Rainfall: Examples From a Young and An Old-Growth Douglas-Fir Forest. *Agricultural and Forest Meteorology*. 130, 113-129.
- Sadeghi S. M. M., P. Attarod and T. G. Pypker. (2015). Differences in rainfall interception during the growing and non-growing seasons in a *Fraxinus rotundifolia* Mill. plantation located in a semiarid climate. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17 (1),145-156.
- Scatena, F.N. (1990). Watershed scale rainfall interception on two forested watersheds in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Journal of Hydrology* 113 (1990), 89-102.
- Statistical Analysis System Institute (SAS). (2007). *The SAS System for Windows ver. 9.1.3*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Torres-Rojo J. M. (2014). Exploring volume growth-density of mixed multiaged stands in northern Mexico. *Agrociencia* 48 (4), 447–461.

Xiao, Q., E. G. McPherson, S. L. Ustin., M. E. Grismer and J. R. Simpson. (2000). Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes* 14(4), 763-784.

Capítulo V

LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA AFECTAN GERMINACIÓN Y ACUMULACIÓN DE BIOMASA EN ARROZ

Robert Vilchis Zimuta¹, Fernando Carlos Gómez Merino^{1*},
Sara Monzerrat Ramírez Olvera¹, Libia Iris Trejo Téllez¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, vilchis.robert@colpos.mx; fernandg@colpos.mx*; ramirez.sara@colpos.mx; tlibia@colpos.mx; ramirez.sara@colpos.mx

RESUMEN

En esta investigación se aplicaron 0, 40, 80 y 120 mg L⁻¹ AgNPs a semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) cv. Morelos A-98; benomilo al 2%; y NaClO al 5%; y testigo agua destilada. 80 y 120 mg L⁻¹ AgNPs en crecimiento inicial del vástago fue superior en 40.47 y 38.72%, respectivamente; benomilo en 14.32% y NaClO lo redujo en 60.7%. La aplicación de 40, 80 y 120 mg L⁻¹ AgNPs incrementa longitud de raíz en 30.76, 72.02 y 59.78% respectivamente; benomilo incrementó en 52.59%; y NaClO se reduce el crecimiento de raíz en 17.3%. En plantas 20, 40 y 80 mg L⁻¹ AgNPs, durante 32 días; las AgNPs disminuyen el número de brotes y la producción de biomasa tanto fresca como seca en crecimiento vegetativo de arroz. La altura de planta disminuye en un 12.21 y 8.86 % para 20 y 40 mg L⁻¹ AgNPs respectivamente, y en un 16.11 % con 80 mg L⁻¹ de AgNPs. El efecto en longitud de raíz fue más notable disminuyendo un 27.86 y 26.99 % para 20 y 40 mg L⁻¹ AgNPs respectivamente, y en un 38.86 % a 80 mg L⁻¹ de AgNPs.

ABSTRACT

In this research, 0, 40, 80 and 120 mg L⁻¹ AgNPs were applied to rice seeds (*Oryza sativa* L.) cv. Morelos A-98; 2% benomyl; and 5% NaClO; and witnessed distilled water. 80 and 120 mg L⁻¹ AgNPs in initial growth of the shoot were higher in 40.47 and 38.72%, respectively; benomyl in 14.32% and NaClO reduced it by 60.7%. The application of 40, 80 and 120 mg L⁻¹ AgNPs increases root length by 30.76, 72.02 and 59.78% respectively;

benomyl increased by 52.59%; and NaClO root growth is reduced by 17.3%. In plants 20, 40 and 80 mg L⁻¹ AgNPs, for 32 days; AgNPs decrease the number of outbreaks and the production of both fresh and dry biomass in vegetative growth of rice. Plant height decreases by 12.21 and 8.86% for 20 and 40 mg L⁻¹ AgNPs respectively, and by 16.11% with 80 mg L⁻¹ of AgNPs. The effect on root length was more noticeable, decreasing 27.86 and 26.99% for 20 and 40 mg L⁻¹ AgNPs respectively, and in 38.86% to 80 mg L⁻¹ AgNPs

Palabras clave: AgNPs, Arroz, biomasa, crecimiento

INTRODUCCIÓN

Las nanopartículas (NPs) se utilizan cada vez más en diversos campos, incluidos el médico, alimenticio, e industrial, debido a sus propiedades físicas y químicas únicas. Estos incluyen propiedades ópticas, térmica, su conductividad eléctrica, y propiedades biológicas (Calderón, 2017). En las últimas décadas, el efecto de las NPs en las plantas se ha convertido en un tema de estudio que está aumentando constantemente, no solo entre los fisiólogos y bioquímicos, sino también entre los biólogos moleculares y los genetistas (Vartapetian *et al.*, 2014). El empleo de NPs, mejora el rendimiento de los cultivos aproximadamente en un 16 % con una dosis adecuada, sin embargo, el nivel de respuesta depende del tipo de nanomaterial, su aplicación potencial y del genotipo (Buu *et al.*, 2014). Se han encontrado que las NPs metálicas o los iones que estas liberan, están directamente relacionadas con la fisiología de las plantas, dependiendo del tamaño y forma de las NPs. Las NPs de plata (AgNPs), son materiales comunes en los productos de consumo por su actividad antimicrobiana de amplio espectro (Yang *et al.*, 2014; Zheng *et al.*, 2017). Están constituidas por grupos de átomos de plata y tienen con un diámetro de 1 a 100 nm, y pueden usarse como agentes inductores de la germinación y del crecimiento (Hwang *et al.*, 2012).

Investigaciones recientes han mostrado que las AgNPs tienen diversas respuestas, tanto positivas como negativas en el crecimiento y desarrollo en varias especies de plantas (Sharma *et al.*, 2012).

Por lo general, las AgNPs se inmovilizan con agentes de recubrimiento, que suelen ser especies cargadas negativamente o polímeros hidrófilos relativamente grandes, tales como citrato, dextrano, goma arábiga, polietilenglicol (PEG) y polivinilpirrolidona (PVP). Entre éstos, la PVP es un reactivo atractivo y comúnmente utilizado que puede estabilizar y proteger de manera estérica las AgNPs (Malynych *et al.*, 2002).

En plantas cultivadas en suelos las AgNPs reduce considerablemente el rendimiento en *Phaseolus vulgaris* sin mostrar signos de toxicidad. Se ha observado que la Ag sustituye en algunos sitios en las membranas al K⁺ e inhibe la absorción de otros cationes por las raíces. Altas concentraciones de Ag disminuyen significativamente el crecimiento y el contenido de proteínas, y mismo tiempo que aumentan la actividad de la enzima ureasa en el girasol, varios informes indican que afectan la fotosíntesis y está relacionado con la producción de ROS que induce las AgNPs (Yañez *et al.*, 2016).

En bajas concentraciones, las AgNPs estimulan el crecimiento de raíces y mayor longitud de plúmula en garbanzo, dando como resultado mayor acumulación de peso seco y por ende una mejora en indicadores de vigor. Asimismo, a las AgNPs se les atribuyen incrementos en los niveles de ácidos indolacético (AIA) en raíces o brotes y por ende aumentan el crecimiento de plántulas (Buu *et al.*, 2014). Las AgNPs pueden cambiar indirectamente el metabolismo celular y posteriormente como resultado un mayor ritmo de crecimiento de las células (Anusuya y Nibiya, 2016).

Plántulas de garbanzo tratadas con AgNPs muestran un notable aumento de la clorofila y la actividad enzimática incluyendo α , β -amilasa, ascorbato peroxidasa (APX), peroxidasa (POD) y catalasa (CAT), (Anusuya y Nibiya, 2016).

En brotes de vainilla (*V. planifolia*) a aplicaciones de 50 mg L⁻¹ de AgNPs mostraron un aumento en el número de brotes y su longitud, también concentraciones de 100 y 200 mg L⁻¹ de AgNPs inhiben ambos procesos, aumentando dramáticamente el contenido de clorofila total, CHL-a y CHL-b, el peso fresco y la longitud de raíz sin afectar peso fresco (Spinoso-Castillo *et al.*, 2017). En especies como arroz, la influencia de las AgNPs en la mejora del rendimiento no ha sido estudiada.

El arroz (*Oryza sativa*) junto con el maíz y el trigo, es una de las monocotiledóneas cultivadas más importantes a nivel mundial; aporta el 21% de calorías y el 15% de proteínas, actualmente se cultiva en aproximadamente 154 millones de hectáreas al año en más de 100 países, y el 90% del arroz del mundo se consume en Asia (Fernández *et al.*, 2017). Al ser uno de los principales cultivos alimenticios del mundo, se sitúa en segundo lugar de importancia entre los cereales a nivel mundial después del trigo, y la demanda de semillas de arroz, para su cultivo y producción está aumentando constantemente (Molina *et al.*, 2011).

En Asia, África y América Latina, el arroz forma parte de la dieta de más de mil millones de personas; durante el primer mes de 2017, México importó un total de 111 mil

640 toneladas de arroz con un valor de 29 millones 200 mil dólares, las cifras oficiales reportan que las importaciones de arroz se dispararon un 21.4 % (González, 2017).

En México se cuenta con más de cuatro mil productores de arroz, principalmente en los estados de Nayarit, Tamaulipas, Veracruz, Michoacán y Campeche, quienes generan un poco más de cinco mil empleos directos y 12 mil empleos indirectos. Asimismo, se producen anualmente 236 mil toneladas y se espera que puedan crecer a 350 mil para el 2018 con la finalidad reducir en 20 % las importaciones. La calidad del arroz importado llega a ser más baja que la del mexicano y no absorbe sabores, lo cual es una característica muy apreciada en la cocina mexicana (González, 2017).

En el estado de Morelos se cultiva el arroz bajo el sistema de trasplante que se realiza bajo dos fases secuenciales de almácigo y la fase de trasplante con un desarrollo en el terreno definitivo (Hernández-Aragón *et al.*, 2015). El establecimiento del almácigo requiere una alternativa viable para tener un ahorro del 25 a 30% en el costo de producción del cultivo en el sistema de trasplante, este sistema requiere de variedades de paja corta que resistan el acame en la etapa de maduración del grano, para que la adopción de este sistema sea ampliada a otras áreas productoras de arroz del estado actualmente solo se aprovecha el 20% de la superficie total (Hernández-Aragón *et al.*, 2015).

En este contexto este estudio tuvo por objetivo evaluar la respuesta del genotipo de arroz *Oryza sativa* L. cv. Moleros A-98 a la aplicación de AgNPs durante la germinación y en etapas subsecuentes con AgNPs aplicadas vía raíz en solución nutritiva.

METODOLOGÍA

Se utilizaron semillas de arroz Morelos cultivar A-98 (*Oryza sativa* L. ssp. *Indica*), que se obtuvieron del Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Ganaderas (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-INIFAP), ubicado en la Estación Experimental de Zacatepec, en el estado de Morelos, México.

Un primer tratamiento consistió en someter las semillas para su desinfección en etanol al 70% por 10 min, con triple enjuague con agua destilada e incubadas por 1 h en NaClO al 5% con Tween[®] 20. El siguiente tratamiento consistió en inmersión en nanopartículas de plata (AgNPs) (PVP-AgNPs AgroVit[®]) fueron a concentraciones de 40, 80 y 120 mg L⁻¹ AgNPs, por 12 min (para su preparación se tomó con una micropipeta graduada y se aforó a 30 mL con agua destilada). Un tercer tratamiento consistió en inmersión en Benomilo[®] una concentración de 2 g en 100 mL durante 1 h. Como tratamiento testigo se empleó agua destilada.

Posteriormente, en una campa de flujo laminar las semillas se colocaron en contenedores plásticos transparentes desechables, con dimensiones de 11x11x8 cm, al que se le colocó un papel filtro de 10 x10 cm y se le agregaron 15 mL de agua destilada estéril. Posteriormente, cada 2 días se agregaron nuevamente 15 mL de agua destilada estéril. Se registró de ser el caso, la contaminación por hongos.

Las cajas se depositaron en oscuridad a 28 °C por 3 días, después fueron expuestas a la luz natural. Se tuvieron tres repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue el contenedor de plástico transparente con 10 semillas. Se evaluó durante 6 d la germinación, considerando como semilla germinada aquella con radícula de 2 mm de longitud. El crecimiento inicial se midió 10 días después de la siembra, determinando altura de plántula, longitud de raíz, peso de la biomasa fresca y seca de parte aérea y raíz.

Los datos se evaluaron con análisis de varianza y prueba de comparación de medias con la prueba de Tukey utilizando los procedimientos PROC ANOVA y PROC GLM. En las pruebas estadísticas aplicadas se utilizó un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, (SAS, 2011).

Para el experimento hidropónico las semillas se desinfectaron, germinaron y las plantas crecieron en hidroponía con solución Yoshida, a la que se le agregaron los tratamientos de 20, 40 y 80 mg L⁻¹ AgNPs, durante 32 días.

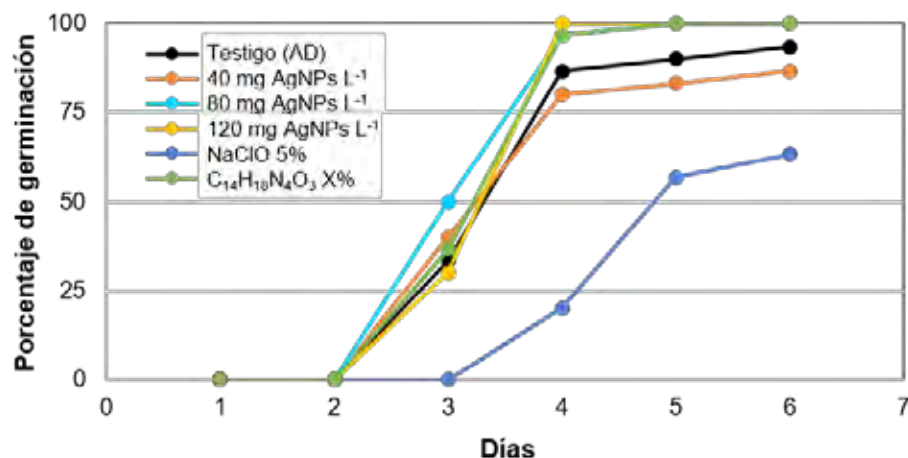
Plantas de arroz cv. Morelos A-98 (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) se establecieron en un sistema hidropónico de raíz flotante. A la solución nutritiva se adicionaron dosis crecientes de nanopartículas de plata (AgNPs): 0, 20, 40 y 80 mg L⁻¹ durante 32 días. Posteriormente, en vástagos se evaluaron las concentraciones de clorofilas *a*, *b* y total; mientras que, los aminoácidos solubles totales fueron cuantificados en vástagos y en raíces. Con los resultados obtenidos se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) con el software SAS.

RESULTADOS

Cinética de germinación

Las AgNPs aceleraron la germinación, en comparación con el tratamiento con agua destilada (testigo absoluto), con solución de benomilo al 2% y con solución de hipoclorito de sodio al 5% (Gráfico 1).

Gráfico 1. Cinética de germinación de semillas de arroz cv. Morelos A-98, con diferentes tratamientos de desinfección



Tres días después de la incubación, las semillas el tratamiento con 80 mg L⁻¹ AgNPs indujo 50% de germinación. Los tratamientos con 80 y 120 mg L⁻¹ AgNPs, así como el tratamiento con benomilo al 2%, alcanzaron el 100% de germinación cuatro días después de la incubación.

En esta evaluación también se registró 86% de germinación en el testigo, 80% con 40 mg L⁻¹ AgNPs, y 20% para hipoclorito de sodio al 5%. Las dosis de 80 y 120 mg L⁻¹ AgNPs y benomilo al 2% produjeron porcentajes de germinación significativamente mayores que en los tratamientos con hipoclorito de sodio al 5% y el testigo.

En el Gráfico 1 se observa que los tratamientos de desinfección de las semillas con 80 y 120 mg L⁻¹ AgNPs redujeron el tiempo de germinación y aumentaron el porcentaje de germinación, dado que se alcanzó el 100% en solo 4 d. Por el contrario, en semillas desinfectadas con NaClO 5%, alcanzaron 63.3% de germinación en 6 d; las semillas del tratamiento testigo (agua destilada) tuvo el 93.3% después de 6 días.

Efecto de las AgNPs en el crecimiento de plantas de arroz

Los resultados mostraron que después de 6 días de germinación de las semillas de arroz Morelos A-98, las AgNPs influenciaron significativamente en sus diferentes concentraciones con AgNPs, conforme la concentración de AgNPs aumenta a 80 mg L⁻¹ promueve un 40.47% el crecimiento inicial de la parte aérea, con la aplicación de a

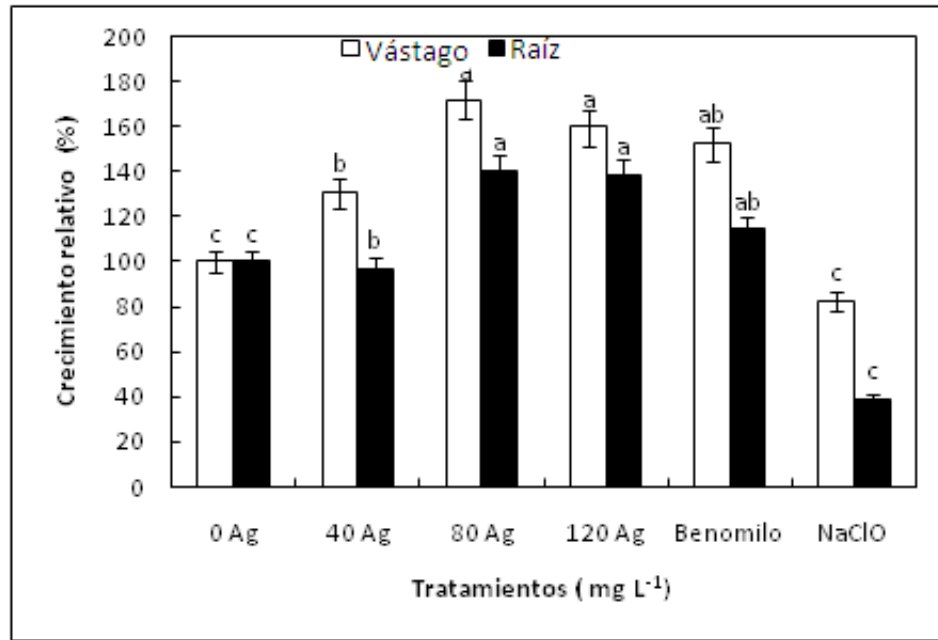
40 mg L⁻¹ de AgNPs el crecimiento inicial de vástago, tiende a disminuir en un 3.18% y concentraciones de 120 mg L⁻¹ de AgNPs incrementan un 38.72 % se tuvo un menor incremento medio en la altura de planta del 20% respecto al testigo (Gráfico 2).

La inmersión de las semillas en de 40, 80 y 120 mg L⁻¹ de AgNPs durante 12 min, tuvo efectos positivos en la longitud de la raíz, con incrementos de 30.76, 72.02 y 59.78%, respectivamente, en comparación con el testigo. Por otra parte, el proceso de desinfección con hipoclorito de sodio al 5% durante una hora y triple lavado, disminuye en 17.33% el crecimiento relativo de raíces, mientras que el usar benomilo, promueve el crecimiento un 52.59% respecto al testigo (Gráfico 2). Las características fenotípicas de las plántulas de arroz desarrolladas a partir de todas las semillas con diferentes tratamientos son normales y no presentan signos de toxicidad.

Este estudio revela que la inmersión de semillas de arroz durante 12 minutos en una solución con 80 mg L⁻¹ AgNPs promueve la germinación un 50 % a partir del 3 día y un crecimiento inicial de la parte aérea de 40.47 % al igual que el uso de fungicida como el benomilo; concentraciones de 120 mg L⁻¹ de AgNPs incrementan la velocidad de germinación un 38.72 %, y promueve crecimiento de plántulas de arroz cv. Morelos A-98. Mientras que el método de desinfección con hipoclorito los inhibe.

Después de observar que las AgNPs incrementan el porcentaje de germinación y el crecimiento de arroz durante la fase de plántula, se investigó el efecto de éstas en el crecimiento vegetativo de plantas de arroz. Para ello, plantas de 32 d de edad fueron sometidas a dosis crecientes de AgNPs (0, 20, 40 y 80 mg L⁻¹) a partir de Argrobit®, las cuales se adicionaron a la solución nutritiva.

Gráfico 2. Influencia de las nanopartículas de plata, benomilo e hipoclorito de sodio como agentes desinfectantes de la semilla, en el crecimiento inicial de arroz cv. Morelos A-98



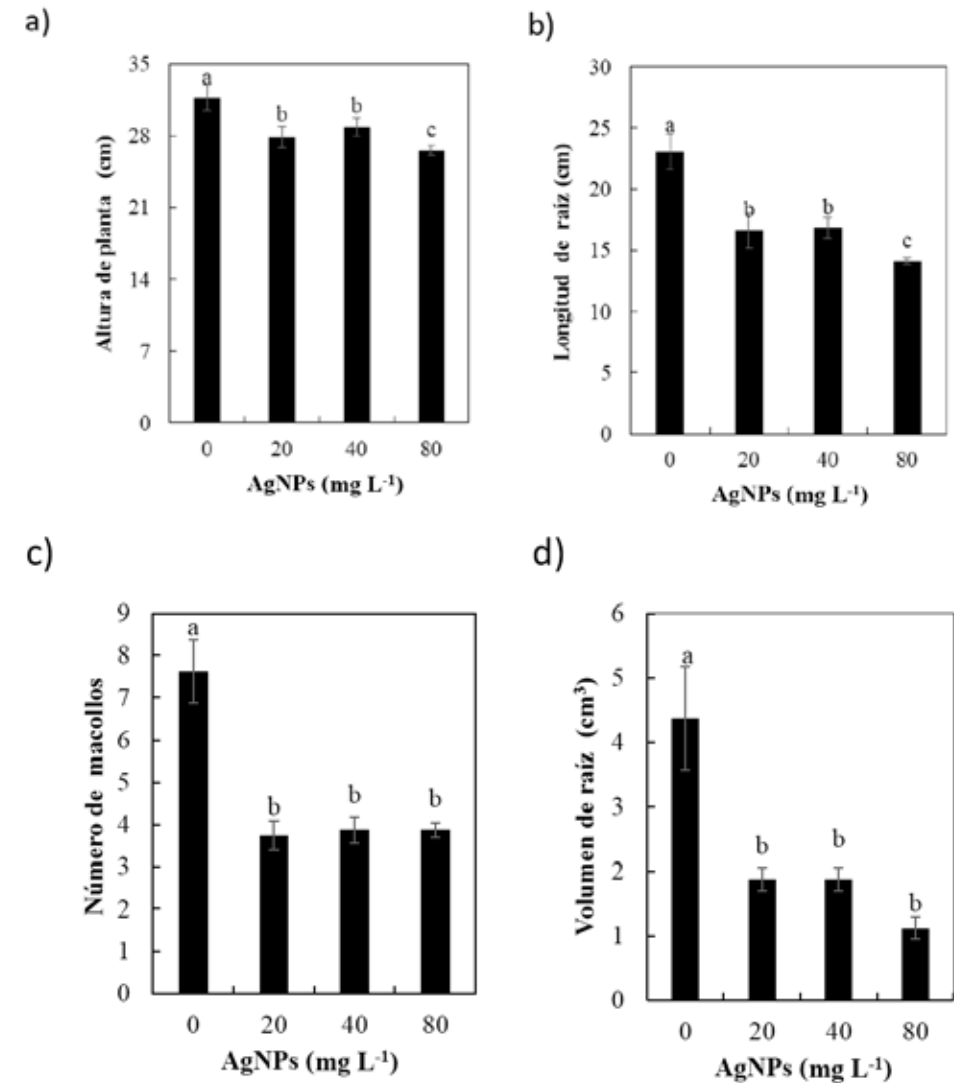
Medias ± DE con letras distintas en cada variable, indican diferencias estadísticas entre tratamientos (LSD, P ≤ 0.05)

En la variable altura de planta ninguno de los tratamientos fue estadísticamente superior al testigo. Las aplicaciones de 20 y 40 mg L⁻¹ AgNPs redujeron la altura de planta en 12.21 y 8.86 % respectivamente, en comparación con el testigo; mientras que, con 80 mg L⁻¹ AgNPs ésta se redujo en 16.11 % con respecto al testigo (Gráfico 3a).

Asimismo, la longitud de raíz fue reducida en comparación con el testigo, cuando las plantas se trataron con 20 y 40 mg L⁻¹ AgNPs, dichos decrementos fueron de 27.86 y 26.99 % respectivamente. Al incrementar la concentración a 80 mg L⁻¹ AgNPs la reducción en longitud de raíz en comparación con el testigo fue de 38.86 % (Gráfica 3b). De la misma manera, las AgNPs disminuyen el número de macollos (Gráfica 3c) y el volumen de raíz (Gráfico 3d).

Gráfico 3. Altura de planta (a), longitud de raíz (b), número de macollos (c) y volumen de raíz (d) de plantas de arroz cv. Morelos A-98 tratadas con diferentes concentraciones de AgNPs.

Plantas de 26 d de edad fueron crecidas en solución nutritiva de Yoshida con 0, 20, 40 y 80 mg L⁻¹ de AgNPs durante 32 d

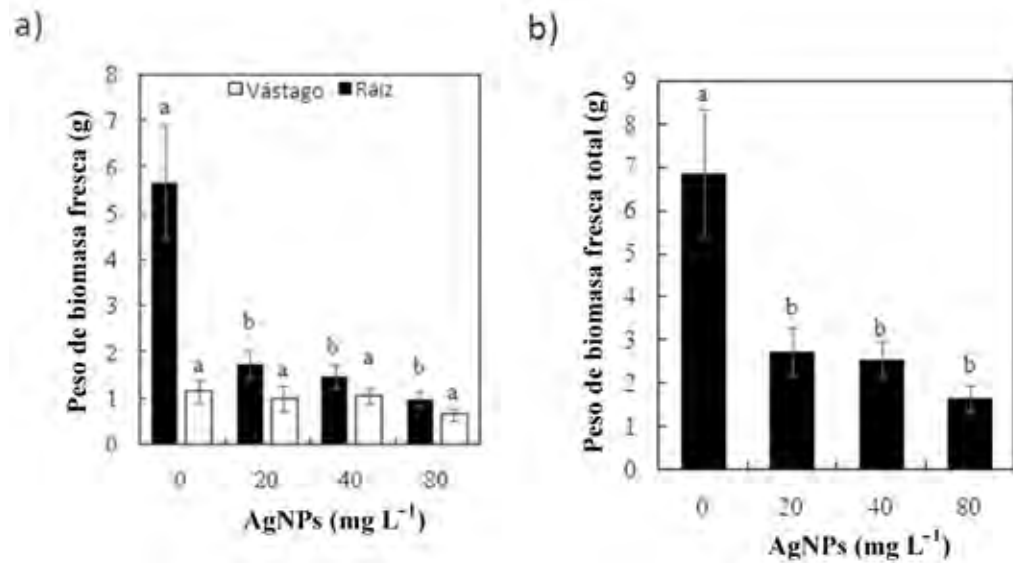


Medias ± DE con letras distintas en cada variable, indican diferencias estadísticas entre tratamientos (LSD, P ≤ 0.05)

En relación con el peso de biomasa fresca en raíz, ésta disminuyó respecto al testigo en 13.96, 8.71 y 43.19 %, con las dosis de AgNPs de 20, 40 y 80 mg L⁻¹, respectivamente (Gráfico 4a). Esta tendencia influyó en consecuencia, los resultados obtenidos en el peso de biomasa fresca total como se observa en el Gráfico 4b. En **vástagos, no hubo influencia** significativa de las AgNPs en el peso de biomasa fresca (Gráfico 4a).

Grafica 4. Biomasa fresca de vástago y raíz (a) y biomasa seca total (b) de plantas de arroz cv. Morelos A-98 tratadas con diferentes concentraciones de AgNPs.

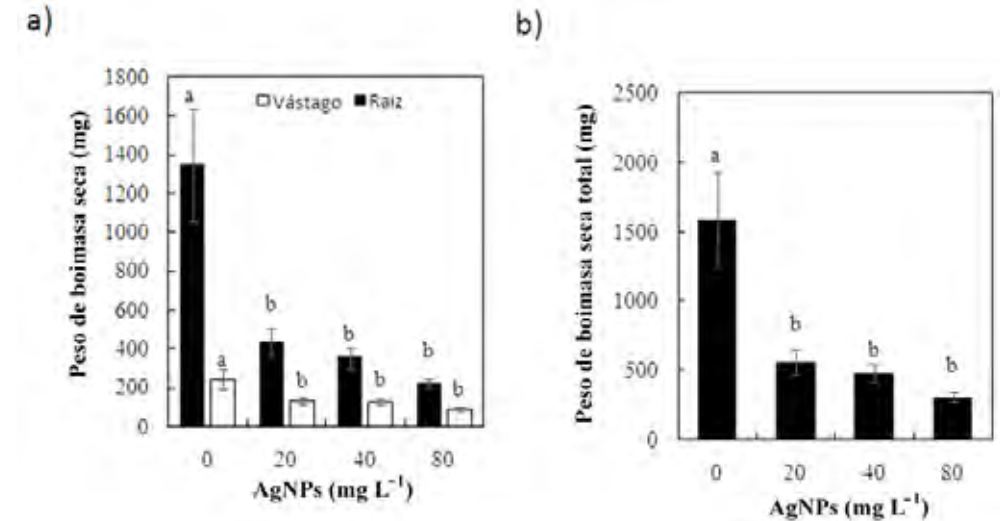
Plantas de 26 d de edad fueron crecidas en solución nutritiva de Yoshida con 0, 20, 40 y 80 mg L⁻¹ de AgNPs durante 32 d



Medias ± DE en cada subfigura con letras distintas indican diferencias estadísticas (LSD, P ≤ 0.05)

De la misma manera, el peso de biomasa seca de vástagos disminuyó en un 67.99, 73.58 y 83.53 % en los tratamientos 20, 40 y 80 mg L⁻¹ AgNPs, respectivamente, en comparación con el testigo (Gráfica 5a). Esta tendencia se observó también en el peso seco de raíces (Gráfica 5a) y en el peso de biomasa seca total como se observa en el Gráfico 5b.

Grafica 5. Peso de biomasa seca de vástagos y raíces (a) y biomasa seca total (b) de plantas de arroz cv. Morelos A-98 tratadas durante 32 d con diferentes concentraciones de nanopartículas de plata (AgNPs) en la solución nutritiva



Medias ± DE en cada subfigura con letras distintas indican diferencias estadísticas (LSD, P ≤ 0.05).

Discusión

Almutairi y Alharbi (2015) indican que las AgNPs incrementan el crecimiento de radícula en plántulas de melón y calabacita; por el contrario, observaron un efecto inhibitorio en el crecimiento de maíz.

Por otra parte, se ha reportado que las AgNPs inducen un incremento de la longitud de la raíz, biomasa seca, mayor contenido de proteína, clorofila y carbohidratos; asimismo que inducen la activación de enzimas antioxidantes, dando como resultado una reducción de los niveles de especies reactivas de oxígeno (Salama, 2012).

Las nanopartículas de AgNO₃ no cubiertas tienden a estimular la germinación de semillas en diferentes especies, en tanto que al ser recubiertas con PVP no afectan la germinación o tienen un efecto inhibitorio (Yin *et al.*, 2012). De acuerdo con Thuesombat *et al.* (2014), la inmersión de semillas de arroz a concentraciones de 10 a 100 mg L⁻¹ de AgNPs por 24 h pueden causar efectos tóxicos, aunque en nuestro estudio, la inmersión de semillas de arroz durante 12 min a 80 mg L⁻¹ promovió la germinación.

Concentraciones de 120 mg L⁻¹ de AgNPs incrementaron la velocidad de germinación un 38.72%, y promovieron el crecimiento, en tanto que la desinfección con hipoclorito inhibió este proceso.

Con la concentración de 80 mg L⁻¹ de AgNPs se obtuvo mayor crecimiento de vástago y raíz, resultados que se corroboran con los pesos fresco y seco de vástago y con el peso seco de raíz. Estos resultados se deben a que las AgNPs mejoran el metabolismo del almidón en plántulas de arroz por que inducen la absorción de agua más rápido en el proceso de imbibición, en un experimento similar, al evaluar de actividad de α -amilasa y azúcares totales solubles después de 6 días de germinación de las semillas de arroz, tratadas con AgNPs a concentraciones de 10 y 20 mg L⁻¹ aumentan significativamente la actividad de α -amilasa en plántulas de arroz en comparación con el control. La actividad de α -amilasa de plántulas aumentó 2.6 y 2.5 veces en con AgNPs a 10 y 20 mg L⁻¹ respectivamente, en comparación con el control de semillas; mientras que las actividades de α -amilasa con tratamientos de AgNO₃ en concentraciones de 10 y 20 ppm no fueron significativamente diferentes del control. Del mismo modo, se indujo el contenido de azúcar soluble total de 2.0 a 2.2 veces mediante tratamientos de nanopartículas a 10 y 20 ppm en comparación con el control, mientras que en tratamientos con AgNO₃, los azúcares solubles totales permanecieron casi sin cambios comparados con el control (Mahakham, *et al.*, 2017).

Nuestro estudio muestra el efecto inductor de la germinación y el crecimiento de las AgNPs, siendo 80 mg L⁻¹ de AgNPs la mejor concentración; asimismo, dosis de 120 mg L⁻¹ promueven la presencia de inhibidores del crecimiento inicial pero no de la germinación. Por el contrario, se ha reportado toxicidad causada por las AgNPs en otras especies. Las longitudes de raíces de seis especies de plantas se redujeron significativamente en el experimento de cultivo puro cuando las semillas se expusieron a Ag-AgNP frente a AgNO₃ (Yin *et al.*, 2012). En arroz (*Oryza sativa* L. cv. KDML 105) se observó que los efectos de las AgNPs son dependientes del tamaño de éstas, además de su concentración; los resultados indicaron que la germinación de las semillas y el crecimiento de plántulas disminuyen con el aumento del tamaño y la concentración de AgNPs, dado que las AgNPs de menor diámetro se acumulan en las raíces en lugar de ser transportadas a las hojas. Asimismo, la inmersión de semillas con AgNPs **más grandes (150 nm)**, a concentraciones de 10 a 100 mg L⁻¹ durante la germinación, tiene efectos negativos en el crecimiento inicial, deformando las células de la hoja (Thuesombat *et al.*, 2014).

Thuesombat *et al.* (2014) menciona que la inmersión de semillas de arroz a concentraciones de 10 a 100 mg L⁻¹ de AgNPs durante 24 h, son concentraciones

tóxicas para la germinación y crecimiento de arroz. En este estudio, la inmersión de semillas de arroz durante 12 min en una solución con 80 mg L⁻¹ de AgNPs conduce a 50% de germinación a partir del tercer día y un crecimiento inicial de la parte similar al registrado en el tratamiento con el fungicida benomilo; concentraciones de 120 mg L⁻¹ de AgNPs incrementan la velocidad de germinación en 38.72 %, respecto al testigo y promueve crecimiento de plántulas de arroz cv. Morelos A-98. Mientras que el método de desinfección con hipoclorito los inhibe.

CONCLUSIONES

El tratamiento con hipoclorito de sodio no estimula la germinación, sino que probablemente promueve la acumulación de metabolitos inhibidores de la germinación de semillas y del crecimiento de plántulas de arroz.

La inmersión semillas de arroz en concentraciones de 80 y 120 mg L⁻¹ de AgNPs tiene efectos positivos en la germinación en semillas de arroz y promueven el crecimiento inicial, siendo la concentración 80 mg L⁻¹ AgNPs la más adecuada de las que fueron evaluadas para el cultivar Morelos A-98. Las AgNPs disminuyen el crecimiento vegetativo tanto de vástago como de raíz, y el número de brotes de arroz, al igual que biomasa tanto fresca como seca.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados (CP) por las facilidades de infraestructura y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) por la beca para estudios de maestría en ciencias otorgada a RVZ.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almutairi, Z. M. & Alharbi, A. (2015). Effect of silver nanoparticles on seed germination of crop plants. *International Journal of Nuclear and Quantum Engineering*, 9(6), 689-693.
- Anusuya, S. & K. Nibiya. (2016). Silver-chitosan nanoparticles induced biochemical variations of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 8, 39-44.
- Buu, Q., Hien, T., Chau, H. Tin, X. Van, T. Duong, T. & Ha T. (2014). Effects of nano crystalline powders (Fe, Co and Cu) on the germination, growth, crop yield and

- product quality of soybean (Vietnamese species DT-51). *Vietnam Academy of Science and Technology*, 5,1-7.
- Calderón, J. B., Johnson, M. E., Montoro, B. A. R., Murphy, K. E., Winchester, M.R. & Baudrit, V.J.R. (2017). Silver Nanoparticles: Technological Advances, Societal Impacts, and Metrological Challenges. *Frontiers in Chemistry*, 5, 6.
- Fernández, D. S. R., Ramírez, P., Silva, J., Storaci, V., Cuamo, L., De Guglielmo, Z. & Smits, G. (2017). Establecimiento de un sistema de selección in vitro de variedades venezolanas de arroz (*Oryza sativa* L.) resistentes al hongo *Pyricularia grisea*. *Acta Biológica Colombiana*, 22(1), 85-100.
- González, G. S. (3 de Mayo de 2017). México triplicó importación de arroz en 2016: B de M. *La Jornada*. Recuperado de <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2017/05/01/mexico-triplico-importacion-de-arroz-en-2016-bdm>
- Hernández-Aragón, L., Tavas-Fuentes, L. & Cándido, P. A. (2015). Paquetes Tecnológicos para el cultivo de arroz en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Zacatepec. Zacatepec, Morelos, México. *Folleto Técnico* No. 87. 85 p.
- Hwang, I., Lee, J., Hwang, J. H., Kim, K. & Lee, D. G. (2012). Silver nanoparticles induce apoptotic cell death in *Candida albicans* through the increase of hydroxyl radicals. *The FEBS Journal*, 279, 1327-1338.
- Mahakham, W., Sarmah, A. K., Maensiri, S. & Theerakulpisut, P. (2017). Nanoprimering technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Scientific Reports*, 7, 8263.
- Malynych, S., Luzinov, I. & Chumanov, G. (2002). Poly (vinyl pyridine) as a universal surface modifier for immobilization of nanoparticles, *Journal of Physical Chemistry*, 106, 6, 1280-1285.
- Molina, J., Sikora, M., Garud, N., Flores, J.M., Rubinstein, S., Reynolds, A., Huang, P., Jackson, S., Schaal, B.A. & Bustamante, C. D. (2011). Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 20, 8351-8356.
- Salama, H.M.H. (2012). Effects of silver nanoparticles in some crop plants, common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.). *International Research Journal Biotechnology*, 3, 10, 190-197.
- SAS. (2011). Institute. Statistical Analysis System version 9.3. User's Guide. Cary, NC.
- Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M., Saradhi, P., Khanna, P. & Arora, S. (2012). Silver Nanoparticle-Mediated Enhancement in Growth and Antioxidant Status of *Brassica juncea*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 167(8), 2225-2233.
- Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M., Saradhi, P., Khanna, P. & Arora, S. (2012). Silver nanoparticle-mediated enhancement in growth and antioxidant status of *Brassica juncea*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 167(8), 2225-2233.
- Spinoso-Castillo, J. L., Chávez-Santoscoy, R. A., Bogdanchikova, N., Pérez-Sato, J. A., Morales-Ramos, V. & Bello-Bello, J. J. (2017). Antimicrobial and hormetic effects of silver nanoparticles on *in vitro* regeneration of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) using a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 129(2), 195-207.
- Thuesombat, P., Hannongbua, S., Akasit, S. & Chadchawan, S. (2014). Effect of silver nanoparticles on rice (*Oryza sativa* L. cv. KDML 105) seed germination and seedling growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 104, 302-309.
- Vartapetian, B. B., Dolgikh, Y. I., Polyakova, L. I., Chichkova, N. V., & Vartapetian, A. B. (2014). Biotechnological approaches to creation of hypoxia and anoxia tolerant plants. *Acta Naturae*, 6(2), 19-30.
- Yang, Y., Li, M., Michels, C., Moreira-Soares, H. & Alvarez, P. J. J. (2014). Differential sensitivity of nitrifying bacteria to silver nanoparticles in activated sludge. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(10), 2234-2239.
- Yañez, C.M.G., Álvarez, G.R., Flores, G.M.A., Cadena, R. A., Tovar, J.X., García, R., D. L. & Villanueva, I. M. (2016). *Biosíntesis y efecto de la concentración de partículas a base de plata en la germinación de plántulas de Lactuca sativa* L. var. *longifolia*. Memorias de 10 encuentro Biotecnología, IPN.
- Yin, L., Colman, B.P., McGill, B.M., Wright, J.P. & Bernhardt, E.S. (2012). Efectos de la exposición de nanopartículas de plata sobre la germinación y el crecimiento temprano de once plantas de humedales. *PLoS ONE*, 7(10), e47674.

Zheng, Y., Hou, L., Liu, M., Newell, S.E. Yin, G. Yu, C., Zhang, H., Li, X., Gao, D., Gao, J., Wang, R. & Liu C. (2017). Effects of silver nanoparticles on nitrification and associated nitrous oxide production in aquatic environments. *Science Advances*, 3(8), e1603229.

MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS MEDICINALES EN SANTA CATARINA DEL MONTE, MÉXICO

Ameyali Hernández Hernández¹, Felipe Reyes Fuentes²

¹ Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Preparatoria Agrícola. Área de Ciencias Sociales. Correo electrónico: ameyalihdez@yahoo.com.mx

² Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Preparatoria Agrícola. Área de Ciencias Sociales. Correo electrónico: ololihqui@hotmail.com

RESUMEN

Santa Catarina del Monte es un poblado de origen nahua perteneciente al municipio Texcoco, México. En este lugar existe un sistema médico indígena, cuyo pilar base son los recursos fitogenéticos medicinales. Este patrimonio biocultural está en riesgo debido a la presión que ejercen los sistemas de producción convencional en sus hábitats, por lo que resulta trascendental fomentar la preservación de la diversidad biológica en torno a la flora curativa, ya que ésta permite hacer frente a los problemas de salud. En este sentido, el objetivo de la presente investigación es generar una estrategia de manejo sustentable de los recursos fitogenéticos medicinales a través del establecimiento de una Farmacia Viviente en la que se produzcan, de manera agroecológica, plantas medicinales. La metodología aplicada se construyó a través de técnicas participativas, cuyas fases fueron: a) identificación de las causas de morbilidad y mortalidad, b) identificación de los recursos fitogenéticos medicinales locales para el tratamiento de las enfermedades y, c) diseño y establecimiento de la Farmacia Viviente Comunitaria. Se identificaron 120 plantas medicinales, de las cuales 80 se integraron a la Farmacia Viviente para atender los 10 padecimientos de salud con mayor incidencia en Santa Catarina del Monte.

ABSTRACT

Santa Catarina del Monte is a town of Nahua origin belonging to the municipality of Texcoco, Mexico. In this place there is an indigenous medical system, whose mainstay is the phytogenetic medicinal resources. This biocultural heritage is at risk due to the pressure exerted by conventional production systems in their habitats, so it is crucial to promote the preservation of biological diversity around the curative flora, since it allows us to face the problems of Health. In this sense, the objective of this research is to generate a sustainable management strategy for medicinal phytogenetic resources through the establishment of a Living Pharmacy in which medicinal plants are produced in an agroecological manner. The methodology applied was constructed through participatory techniques, whose phases were: a) identification of the causes of morbidity and mortality, b) identification of local medicinal phytogenetic resources for the treatment of diseases, and c) design and establishment of the Living Community Pharmacy. We identified 120 medicinal plants, of which 80 were integrated into the Living Pharmacy to attend the 10 health conditions with the highest incidence in Santa Catarina del Monte.

Palabras clave: recursos fitogenéticos, plantas medicinales, farmacia viviente, sustentabilidad

INTRODUCCIÓN

En las comunidades rurales y urbanas del México contemporáneo, las plantas medicinales son un recurso importante para enfrentar los procesos de salud y enfermedad de gran parte de la población, ya que con base a lo que indica la Secretaría de Salud (2013), en la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos, la flora medicinal ocupa hoy un espacio creciente en el horizonte de los consumidores de bienes y servicios médicos, no sólo en los individuos que se encuentran sumidos en la pobreza, sino de todos los niveles sociales.

Esta situación no es exclusiva de México, ya que la Organización Mundial de Salud (OMS) desde 1974 generó directrices para que los países reconocieran e incorporaran tanto a las plantas medicinales como a la medicina tradicional a sus políticas públicas; a este documento se le denominó “Salud para todos en el año 2000”. En el mismo orden de ideas, en 1988 se plasmó la “Declaración de Chiang Mai” con el título “Salvar las Plantas para Salvar Vidas” auspiciado por OMS/UICN/WWF. Estos documentos hablan sobre la necesidad de conservación de plantas medicinales como una estrategia para la atención de la salud, así como la trascendencia del conocimiento y del medio ecológico donde se desarrollan los vegetales con uso terapéutico.

Así también, las instituciones hegemónicas de la salud, a través de sus comunicados han descrito la importancia y la necesidad de conservar tanto a la flora medicinal como a los usuarios de ésta, no obstante, las metodologías que pudieran permitir el aprovechamiento sustentable de los recursos fitogenéticos medicinales están ausentes.

Ante este escenario, en la Universidad autónoma Chapingo se construye de manera continua y participativa el concepto de Farmacia Viviente (FV), el cual es un espacio cognitivo tomando como modelo los centros de investigación precortesianos, como el Cerro de Tezcutzingo y los jardines botánicos de Iztapalapa y Oaxtepec (Heyden, 2002), donde se involucran las esferas físicas sensoriales, emocionales, espirituales y sociales, así como las manifestaciones de la racionalidad médica, que son los médicos que usan sustancias de síntesis química, de tal manera que la Farmacia Viviente puede hablar diversos lenguajes equivalentes a las técnicas vividas en la comunidad de estudio.

En este orden de ideas, el concepto de Farmacia Viviente no pretende desarrollar una visión unidimensional donde sólo los conceptos tradicionales tengan viabilidad, en la Farmacia Viviente se yuxtaponen los lenguajes donde la medicina hegemónica tiene cabida a través de sus conceptos fitoquímicos, farmacológicos, clínicos y al unísono la Farmacia Viviente dialoga con el susto, con las limpias, con los mapas conceptuales de las culturas indígenas y rurales de las zonas de estudio, que en este caso, es Santa Catarina del Monte, comunidad de origen nahua que pertenece al municipio de Texcoco, en el Estado de México.

Es así como los insumos rectores de la edificación de la Farmacia Viviente son: a) los conocimientos vinculados con los padecimientos con mayor morbilidad y mortalidad de Santa Catarina del Monte y b) los recursos vegetales empleados para atender las enfermedades identificadas.

Al incorporar los saberes multidimensionales, se genera un tejido entre los padecimientos, los remedios, la forma de aplicar las sustancias vegetales (dérmica, umbilical, oral, anal, oftálmica, entre otras) y el medio ecológico; de tal manera que la Farmacia Viviente es un espacio útil tanto para la preservación de la memoria, los recursos fitogenéticos y para atender las patologías contemporáneas de la comunidad.

En esta dinámica, se concibe a los recursos fitogenéticos con efectos terapéuticos como objetos que acumulan experiencia y producen nuevos conocimientos, de tal manera las entidades biológicas son al mismo tiempo objetos terapéuticos, marcadores históricos, fuente de riquezas y símbolos que confieren identidad y bienestar a la sociedad. Dicha

riqueza biocultural ha trascendido a través de los siglos y se ha mantenido vigente gracias a que ha tenido de manera continua una interacción con las culturas, es decir, el uso de las plantas medicinales es lo que ha posibilitado la conservación.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo, diseñar una Farmacia Viviente a través de técnicas participativas para conservar y hacer un manejo sustentable de los recursos fitogenéticos medicinales de Santa Catarina del Monte.

METODOLOGÍA

La estrategia metodológica tiene como hilo conductor la investigación-acción participativa (Colmenares, 2012), donde se trabaja con el consenso de los actores que dinamizan la herbolaria tradicional de Santa Catarina del Monte. En este proceso se desarrolla una hibridación entre la información académica y el conocimiento popular, hilvanando una constelación que tiene como eje a las plantas medicinales y sus distintas dimensiones ecológicas, terapéuticas, sociales, económicas y ambientales.

Así también, la metodología de edificación de la Farmacia Viviente participativa, genera un espacio pedagógico donde se asume una estrategia de continuo aprendizaje ambiental que tiene como premisa la reapropiación de los saberes de la flora medicinal mediante la dinámica aprender-haciendo, enseñar-haciendo y transformando en un proceso donde los individuos crean conciencia de la naturaleza y al mismo tiempo le confieren un sentido relacionado con el cuidado de la salud.

En este contexto, al aplicar el intelecto sobre las plantas y los componentes del ecosistema, los participantes le asignan significados prácticos y simbólicos a los lugares que transitan cotidianamente, con estas proyecciones intelectuales modifican la connotaciones del espacio, es decir, al descubrirle utilidad a los vegetales, dichas entidades son susceptibles de aprecio y valoración, detonando el cuidado de los saberes y espacios ecológicos, tejiendo una red que como atributo intrínseco el cuidado de la salud y el bienestar humano.

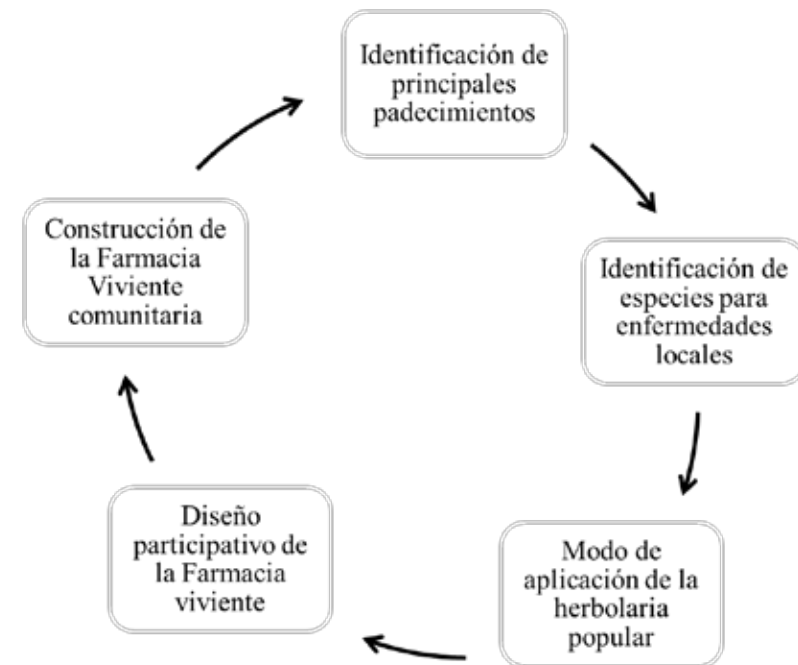
Las fases puntuales que posibilitan la creación de la Farmacia Viviente se ubican en un circuito virtuoso en constante movimiento (Figura 1), ya que las sociedades no son estáticas y por ello cada grupo social presenta enfermedades y formas culturales específicas para atender sus problemas de salud. Por ejemplo, hace 50 años la sociedad mexicana presentaba principalmente enfermedades infectocontagiosas y por consecuencia se empleaban de manera mayoritaria plantas antimicrobianas; actualmente los padecimientos vinculados con síndromes metabólicos, obesidad y exceso de grasa corporal son las de más alta incidencia (Soto-Estrada *et al*, 2016).

En este tenor, tanto las plantas como la forma de emplearlas son disímiles a las empleadas en cada época, es por ello que el cimientto que le confiere viabilidad a la Farmacia Viviente son los padecimientos contemporáneos de la sociedad que dinamizará el espacio.

La metodología está orientada hacia la práctica “reflexionar-haciendo” donde se va redescubriendo la importancia de conocer los componentes botánicos del medio ecológico y vincularlos con los padecimientos más apremiantes de cada época (Figura 1).

Así también, la forma de aplicación requiere de una comprensión profunda del fenómeno morboso; este sofisticado conocimiento se deriva de un pensamiento complejo, mismo que se encuentra en los actores que preservan la tradición de aliviar con plantas medicinales como los curanderos, parteras, hueseros, entre otros, esto propicia una revalorización de los saberes locales y detona la reapropiación de los recursos bioculturales para resolver problemas específicos (Figura 2).

Figura 1. Circuito de la estrategia metodológica para la Farmacia Viviente



Fuente: Elaboración propia

La fase del diseño de la Farmacia Viviente es un momento estratégico en el que se considera el área disponible y se retoman como modelos iconográficos a las especies vegetales silvestres o ruderales que son abundantes y exitosas del lugar de estudio (Figura 3), ya que estas entidades presentan adaptaciones en su anatomía (textura, dureza, flexibilidad, cantidad de biomasa), en las sustancias que le confieren sus características organolépticas (color, olor y sabor), en las interacciones bióticas con la macro y microfaunas y abióticas, así como la manera en que aprovecha el modelo vegetal la luz, los minerales, el agua, la estructura y textura del espacio edáfico y aéreo.

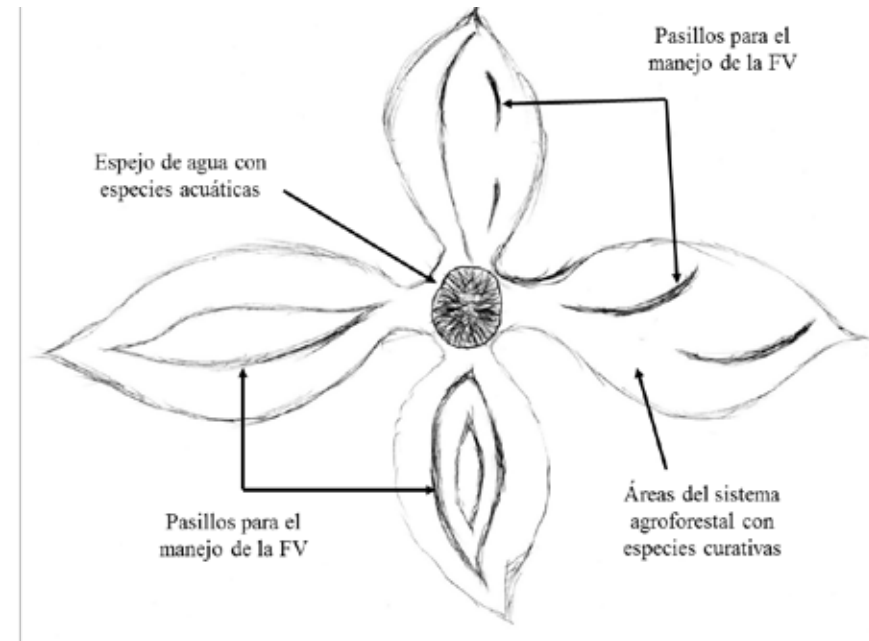
Figura 2. Médicos tradicionales y usuarios de la flora curativa como informantes clave



La metodología contempla grafiar al espacio físico tomando como inspiración el modelo de una especie vegetal, este proceso agudiza la observación de los diseñadores (los habitantes del lugar de estudio) sobre la flora y las interacciones que esta tiene, de manera simultánea se reflexiona sobre los conceptos de resiliencia y adaptabilidad ambiental favoreciendo una dinámica donde el trazo, el nombre y la filosofía de la Farmacia Viviente se gesta a partir de conocimientos bioculturales locales, propiciando un sólido sentimiento de pertenencia e identidad, los cuales son clave para la sustentabilidad de la Farmacia Viviente (Figura 3).

Figura 3. Diseño de Farmacia Viviente de Santa Catarina del Monte

tomando como modelo a *Magnolia grandiflora*



Fuente: Elaboración propia

El acomodo espacial de las especies también sigue una lógica donde se aplican técnicas agroforestales para aprovechar de manera eficiente de manera vertical horizontal y secuencial los recursos. La colocación de las especies intenta emular la distribución que tiene cada especie en el ambiente silvestre; este procedimiento es fundamental para activar el metabolismo secundario y detonar las sustancias que le confieren efecto terapéutico de las plantas.

La Farmacia Viviente se concibe como un espacio interactivo donde el sistema de acciones comunitarias sea la manivela que dé rumbo al uso de la botánica médica, de tal forma que el área donde se instalen las plantas medicinales no funja como un “ecomuseo” donde se muestre al público la flora curativa como una simple y banal mercancía, tampoco que sólo sea entendida por los investigadores, sino que sea activada por la cotidianidad de los habitantes y así abrir una hendidura que permita la entrada de una luz que alumbre y avive las ideas de reapropiación y valoración de los recursos biológicos.

RESULTADOS

El diagnóstico participativo reveló que las principales enfermedades de los habitantes de Santa Catarina del Monte son diez, para los cuales se identificaron 120 plantas medicinales diferentes. De acuerdo al número de plantas utilizadas por padecimiento, se tiene un total de 137 especies debido a que algunas plantas medicinales se emplean para tratar diversas patologías como es el caso de *Opuntia ficus indica* (Tabla 1); de las 120 diferentes especies curativas, se eligieron 80 para su integración a la Farmacia Viviente.

El diseño de la Farmacia Viviente se desarrolló con base a la tecnología agroforestal multiestrato, considerando la interacción empática agroforestal entre las especies seleccionadas con base a sus hábitos de crecimiento de tal manera que se permita la exploración de diferentes zonas, tanto aéreas como edáficas; lo anterior con la intención de realizar un uso eficiente del espacio vertical y horizontal (Arévalo, 2012).

Tabla 1. Padecimientos más frecuentes en Santa Catarina del Monte

Orden de importancia	Padecimiento	Número de especies utilizadas
1	Obesidad e hiperlipidemias	9
2	Diabetes	18
3	Enfermedades cardiovasculares	11
4	Enfermedades ginecológicas	18
5	Infecciones respiratorias	28
6	Infecciones vías urinarias	7
7	Infecciones gastrointestinales	23
8	Bilis	7
9	Colitis	10
10	Susto	6
Total		137

Fuente: Elaboración propia con base a datos recabados en campo

Tanto en la comunidad de estudio como en el panorama nacional, la obesidad es una enfermedad con alta incidencia y crónica que tiene como origen una cadena causal multifactorial, donde interactúan elementos sociales y ambientales. La obesidad se caracteriza por un aumento en los depósitos de grasa corporal y por ende ganancia de peso, causados por un desbalance positivo de energía, que ocurre cuando la ingestión de energía de los alimentos excede al gasto energético y, como consecuencia, el exceso se almacena en forma de grasa en el organismo (Rivera, *et al* 2013).

En esta tesitura, las plantas identificadas tienen un efecto saciante gastrointestinal, con alto valor nutritivo e hipolipemiante (Tabla 2). Es fundamental indicar que el consumo de estas plantas debe ir acompañado con una reducción de la ingesta calórica y aumento del gasto energético para que pueda generar eficacia.

Tabla 2. Flora medicinal identificada útiles para tratar obesidad e hiperlipidemias

Nombre botánico	Nombre común	Vía de administración
<i>Opuntia hyptiacantha</i>	Nopal cascarón	Oral
<i>Opuntia ficus indica</i>	Nopal tunero	Oral
<i>Opuntia joconostle</i>	Xoconochtle	Oral
<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate	Oral
<i>Salvia hispanica</i>	Chía	Oral
<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	Amaranto	Oral
<i>Eryngium sp.</i>	Hierba del sapo	Oral
<i>Malva parviflora</i>	Malva	Oral
<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa	Oral

Fuente: Elaboración propia con base a datos recabados en campo

En la medicina que practican los habitantes de la comunidad de origen indígena Santa Catarina del Monte, conciben la atención de las enfermedades de forma multidimensional, donde van implícitos los aspectos conductuales, al unísono la estrategia herbal mezcla una serie de plantas considerando que no atiende la diabetes sino a individuos que presentan como síntoma la hiperglucemia con etiologías distintas; las fórmulas herbolarias contra la diabetes están configuradas por las especies exteriorizadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Flora medicinal identificada útiles para tratar diabetes

Nombre botánico	Nombre común	Vía de administración
<i>Agave sp.</i>	Maguey	Oral
<i>Tecoma stans</i>	Tronadora	Oral
<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león	Oral
<i>Buddleia cordata</i>	Tepozán	Oral
<i>Opuntia ficus indica</i>	Nopal	Oral
<i>Bidens pilosa</i>	Aceitilla	Oral
<i>Eriobotrya japonica</i>	Níspero	Oral
<i>Cissus sicyoides</i>	Tripa de judas	Oral
<i>Plantago major</i>	Llantén	Oral
<i>Marrubium vulgare</i>	Manrrubio	Oral
<i>Iostephane heterophylla</i>	Raíz del manso	Oral
<i>Senecio salignus</i>	Jarilla	Oral
<i>Allium sativum</i>	Ajo	Oral
<i>Artemisia absinthium</i>	Ajenjo	Oral
<i>Ficus carica</i>	Higo	Oral
<i>Rumex crispus</i>	Lengua de vaca	Oral
<i>Psacalium decompositum</i>	Matarique	Oral
<i>Aloe barbadensis</i>	Sábila	Oral

Fuente: Elaboración propia con base a datos recabados en campo

En la comunidad de estudio, las enfermedades crónico-degenerativas son los padecimientos que predominan entre la población de edad adulta y constituyen las principales causas de la mortalidad para atender este problema de salud se emplean la flora vegetal expresada en la Tabla 4, las cuales están orientadas a regular la presión arterial, establecer un equilibrio en el ritmo cardiaco y generar efectos venotónicos y antioxidantes en los conductos por donde fluye la sangre.

Tabla 4. Flora medicinal identificada útiles para tratar enfermedades cardiovasculares

Nombre botánico	Nombre común	Vía de administración
<i>Casimiroa edulis</i>	Zapote blanco	Oral
<i>Phoradendron sp.</i>	Muérdago	Oral
<i>Taxodium mucronatum</i>	Ahuehuate	Oral y externo
<i>Disocactus ackermannii</i>	Nopalillo	Oral
<i>Magnolia grandiflora</i>	Magnolia	Oral
<i>Crataegus pubescens</i>	Tejocote	Oral
<i>Vitis vinifera</i>	Hoja de uva	Oral y externo
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	Oral y externo
<i>Ruta chalepensis</i>	Ruda	Oral y externo
<i>Peperomia campylotrapa</i>	Ombliigo de la tierra	Oral
<i>Solanum douglasii</i>	Hierba mora	Oral y externo

Fuente: Elaboración propia con base a datos recabados en campo

Las enfermedades respiratorias se clasifican en aquellas que son contagiosas generadas por microorganismos como virus, bacterias y hongos, no obstante en la comunidad no se diseñan estrategias para combatir estos patógenos, pues los médicos tradicionales curan los padecimientos desde otra perspectiva, eliminando la mucosidad e inhibiendo los síntomas.

Por otro lado, dentro de las enfermedades respiratorias no transmisibles, principalmente crónicas y que afectan el pulmón y el árbol bronquial, las más frecuentes son el asma y las alergias respiratorias, las cuales son atendidas con plantas broncodilatadoras y aquellas que inhiben la respuesta exacerbada del sistema inmune, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Flora medicinal identificada útiles para tratar infecciones respiratorias

Nombre botánico	Nombre común	Vía de administración
<i>Bouvardia longiflora</i>	Flor de San Juan	Oral
<i>Cosmos bipinnatus</i>	Mirasol	Oral
<i>Gnaphalium oxyphyllum</i>	Gordolobo	Oral y externo
<i>Iostephane heterophylla</i>	Hierba del manso	Oral
<i>Iresine calea</i>	Pie de paloma	Oral y externo
<i>Jaltomata procumbens</i>	Jaltomate	Oral y externo
<i>Lepidium virginicum</i>	Lentejilla	Oral y externo
<i>Malva parviflora</i>	Malva	Oral y externo
<i>Schinus molle</i>	Pirul	Oral y externo
<i>Pinus sp.</i>	Pino	Oral y externo
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Palo azul	Oral
<i>Physalis ixocarpa</i>	Tomate de cáscara	Oral y externo
<i>Crataegus pubescens</i>	Tejocote	Oral
<i>Malvaviscus arboreus</i>	Malvavisco	Oral
<i>Borago officinalis</i>	Borraja	Oral
<i>Salix sp.</i>	Sauce	Oral y externo
<i>Piqueria trinervia</i>	Hierba de San Nicolás	Oral y externo
<i>Lippia dulcis</i>	Hierba dulce	Oral
<i>Prunus serotina</i>	Capulín	Oral y externo
<i>Crotalaria pumila</i>	Chepil	Oral y externo
<i>Tillandsia recurvata</i>	Paixtle	Oral y externo
<i>Tagetes filifolia</i>	Anisillo	Oral
<i>Calendula officinalis</i>	Mercadela	Oral y externo
<i>Dalea foliosa</i>	Limoncillo	Oral y externo
<i>Allium cepa</i>	Cebolla	Oral y externo
<i>Thymus vulgaris</i>	Tomillo	Oral y externo
<i>Origanum majorana</i>	Mejorana	Oral y externo
<i>Piper sanctum</i>	Hoja santa	Oral y externo

Fuente: Elaboración propia con base a datos recabados en campo

Los padecimientos del género femenino son múltiples y se presentan en las diferentes etapas del ciclo de vida de la mujer, que van desde los momentos anteriores, durante y posteriores a la menstruación, la fase reproductiva, la lactancia, el parto.

De manera generalizada, se conciben como desequilibrios hormonales; para inducir la homeostasis neurohormonal se emplean las plantas contenidas en la Tabla 6.

Tabla 6. Flora medicinal identificada útiles para tratar enfermedades ginecológicas

Nombre botánico	Nombre común	Vía de administración
<i>Adiantum andicola</i>	Culantrillo	Oral
<i>Anoda cristata</i>	Amapola de campo	Oral y externo
<i>Buddleia cordata</i>	Tepozán	Oral y externo
<i>Commelina coelestis</i>	Hierba del pollo	Oral
<i>Dalea reclinata</i>	Escoba del monte	Oral y externo
<i>Erigeron longipes</i>	Pata de león	Oral y externo
<i>Eupatorium petiolare</i>	Hierba del ángel	Oral y externo
<i>Haplopappus venetus</i>	Escobilla	Oral y externo
<i>Ipomoea purpurea</i>	Flor azul	Oral y externo
<i>Juniperus deppeana</i>	Cedro	Oral y externo
<i>Kearnemalvastrum subtriflorum</i>	Malva china	Oral y local
<i>Leonotis nepetifolia</i>	Bola de rey	Oral
<i>Lopezia racemosa</i>	Perilla	Oral y externo
<i>Medicago polymorpha</i>	Carretilla	Oral
<i>Milla biflora</i>	Estrellita	Oral
<i>Mirabilis jalapa</i>	Maravilla	Oral y externo
<i>Montanoa tomentosa</i>	Zihuapahtle	Oral y externo
<i>Dioscorea sp.</i>	Barbasco	Oral y externo

Fuente: Elaboración propia con base a datos recabados en campo

Las enfermedades gastrointestinales son uno de los principales problemas de salud en la época de lluvias Santa Catarina del Monte que se presenta entre los meses de mayo- agosto y se transmiten por vía fecal-oral, o bien por el consumo de agua y alimentos contaminados. Afortunadamente se cuentan con una multiplicidad de especies con buena eficacia para corregir estas distorsiones de la flora y del funcionamiento del sistema gastrointestinal (Tabla 7).

Tabla 7. Flora medicinal identificada útiles para tratar infecciones gastrointestinales

Nombre botánico	Nombre común	Vía de administración
<i>Ageratum corymbosum</i>	Mota morada	Oral
<i>Alternanthera pungens</i>	Tianguispepetla	Oral y externo
<i>Alnus jorullensis</i>	Aliso	Oral
<i>Amaranthus hybridus</i>	Quelite	Oral
<i>Arenaria lycopodioides</i>	Cuatatapa	Oral
<i>Artemisia ludoviciana ssp. mexicana</i>	Estafiate	Oral y externo
<i>Bouteloua gracilis</i>	Gusanillo	Oral
<i>Brickellia veronicifolia</i>	Pexto	Oral
<i>Conyza coronopifolia</i>	Gordolobo	Oral
<i>Conyza filaginoides</i>	Simonillo	Oral
<i>Crotalaria pumila</i>	Chepil	Oral
<i>Diastatea micrantha</i>	Aretitos	Oral
<i>Dyssodia papposa</i>	Micailita	Oral
<i>Eupatorium deltoideum</i>	Xolochíchitl	Oral
<i>Euphorbia prostrata</i>	Hierba de la golondrina	Oral
<i>Gaura coccinea</i>	Hierba del golpe	Oral
<i>Heterosperma pinnatum</i>	Aceitilla	Oral
<i>Loeselia coerulea</i>	Pico de gorrión	Oral
<i>Loeselia mexicana</i>	Espinosilla	Oral
<i>Mirabilis longiflora</i>	Maravilla	Oral y externo
<i>Teloxys ambrosioides</i>	Epazote	Oral y externo
<i>Psidium guajava</i>	Hoja de guayaba	Oral y externo
<i>Persea americana</i>	Hoja de aguacate	Oral y externo

Fuente: Elaboración propia con base a datos recabados en campo

Desde la perspectiva de medicina oficial, la enfermedad inflamatoria intestinal comprende dos entidades: la colitis ulcerosa crónica idiopática y la enfermedad de Crohn (Bosques-Padilla *et al*, 2010). Pero en Santa Catarina se clasifica esta enfermedad únicamente como colitis, la cual se vincula con estados de ánimo y afecta principalmente a personas jóvenes afectando las habilidades laborales, vida social, y calidad de vida de los que la padecen (Tabla 8).

Tabla 8. Flora medicinal identificada útiles para tratar colitis

Nombre botánico	Nombre común	Vía de administración
<i>Agastache mexicana</i>	Toronjil	Oral y externo
<i>Heterotheca inuloides</i>	Árnica	Oral y externo
<i>Hypericum silenoides</i>	Tlanchalahua	Oral y externo
<i>Prunus persica</i>	Flor de durazno	Oral y externo
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Flores de jacaranda	Oral y externo
<i>Mentha sp.</i>	Mentha	Oral y externo
<i>Ocimum basilicum</i>	Albahacar	Oral y externo
<i>Oxalis corniculata</i>	Chucuyule	Oral y externo
<i>Opuntia sp.</i>	Nopal	Oral y externo

Fuente: Elaboración propia con base a datos recabados en campo

En la comunidad indígena se presentan padecimientos que son denominadas por la antropología colonialista como síndrome de filiación cultural para referirse a las enfermedades que poseen los modelos médicos autóctonos de diversas partes del mundo, diferentes al “científico occidental”.

El concepto “síndrome de filiación cultural”, encierra una connotación de menosprecio al darles un carácter poco racional. En este contexto, en la comunidad donde se desarrolló la investigación se identificaron como enfermedades a la bilis y el susto; en estas alteraciones se relacionan procesos conductuales, morales, éticos y culturales. Para recuperar el equilibrio se aplican las especies que se aprecian en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Flora medicinal identificada útiles para tratar bilis

Nombre botánico	Nombre común	Vía de administración
<i>Bacopa procumbens</i>	Hoja de quebranto	Oral
<i>Conyza canadensis</i>	Arrocillo	Oral
<i>Dichondra argentea</i>	Oreja de ratón	Oral
<i>Geranium seemannii</i>	Pata de león	Oral
<i>Helianthemum glomeratum</i>	Tomillo de monte	Oral y externo
<i>Senecio salignus</i>	Jarilla	Oral y externo
<i>Artemisia ludoviciana ssp. mexicana</i>	Iztafiate	Oral y externo

Fuente: Elaboración propia con base a datos recabados en campo

Tabla 10. Flora medicinal identificada útiles para tratar susto

Nombre botánico	Nombre común	Vía de administración
<i>Conyza bonariensis</i>	Escoba de arroyo	Oral y externo
<i>Dalea foliosa</i>	Mezquitillo	Oral y externo
<i>Ipomoea stans</i>	Tumbavaquero	Oral y externo
<i>Lactuca serriola</i>	Lechuga silvestre	Oral y externo
<i>Lamourouxia multifida</i>	Mirto	Oral y externo
<i>Valeriana edulis</i>	Valeriana	Oral y externo
<i>Loeselia mexicana</i>	Espinosilla	Oral y externo
<i>Citrus sp.</i>	Flores de azahar	Oral y externo

Fuente: Elaboración propia con base a datos recabados en campo

CONCLUSIONES

Las plantas medicinales son recursos terapéuticos con prospectiva de largo aliento, puesto que son empleados para las patologías con alta incidencia y prevalencia en el lugar de estudio como la diabetes y la colitis nerviosa, en este contexto, resulta pertinente el diseño y la construcción de la Farmacia Viviente que se realizó con la colaboración permanente de los habitantes de Santa Catarina del Monte, así también este espacio medicinal posibilita la conservación de los recursos fitogenéticos con uso terapéutico y con ello le impregna una fuerza vital a la conservación de los saberes tradicionales, propiciando una dinámica de reapropiación de la herencia biocultural, ya que los insumos cognitivos surgieron de la cosmovisión de los actores, en este contexto la Farmacia Viviente es la expresión biocultural histórica y contemporánea posibilitando un sistema sustentable.

Las acciones en la Farmacia Viviente están enfocadas primordialmente hacia dos sentidos: 1) la conservación de los recursos fitogenéticos medicinales y 2) manejo y aprovechamiento sustentable de plantas curativas para el mejoramiento de la salud en Santa Catarina del Monte. En este espacio socioambiental, la sociedad reconoce su diversidad florística y al interaccionar con sus recursos fitogenéticos medicinales y aplicarlos en la solución de problemáticas vigentes como lo son las enfermedades, se genera un proceso dinámico de revaloración y conservación, ya que la propuesta de la Farmacia Viviente Comunitaria genera bienestar colectivo a partir de la recuperación y de la revalorización de la herencia biocultural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, C. (2012). Técnicas y prácticas agroforestales validados para el Ecuador. Ecuador. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Cuenca. p. 30.
- Bosques-Padilla F., E. Sandoval-García, M. Martínez-Vázquez, E. Garza-González y E. Maldonado Garza. (2010). Epidemiología y características clínicas de la colitis ulcerosa crónica idiopática en el noreste de México. Servicio de Gastroenterología. Monterrey, Nuevo León, México. Departamento de Medicina Interna. Hospital Universitario Dr. José Eleuterio González. Departamento de Microbiología. Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Colmenares, A. (2012). Investigación-acción participativa: una metodología integradora del conocimiento y la acción. Voces y silencios: Revista Latinoamericana de Educación. 3:102-115.
- Heyden, D. (2002). Jardines botánicos prehispánicos. Arqueología Mexicana. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México. Editorial Raíces. Vol. X. Núm. 57: p. 18-23.
- Rivera, J.A., M. Hernández, C. Aguilar, F. Vadillo y C. Murayama. (2013). Obesidad en México: recomendaciones para una política de Estado. México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Secretaría de Salud. (2013). Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos, Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos. México. p. 22 y 23.
- Soto-Estrada G., L. Moreno-Altamirano y D. Pádua Díaz. (2016). Panorama epidemiológico de México, principales causas de morbilidad y mortalidad. Universidad Nacional Autónoma de México. Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM.

META-ANÁLISIS DE CAPTURA DE CARBONO ATMOSFÉRICO EN MÉXICO A TRAVÉS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Rosa María García Núñez¹; Nidia Sarahí Reséndiz Flores², Francisco Torres Cruz²

¹ Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, km. 38.5, Carr. México - Texcoco. CP 56230, Chapingo, Estado de México, México. garcianu51@gmail.com (*Autor de correspondencia).

² División de Ciencias Económico Administrativas (DICEA), Universidad Autónoma Chapingo, km. 38.5, Carr. México - Texcoco. CP 56230, Chapingo, Estado de México, México. nisaref@gmail.com, ftc_1330@yahoo.com.mx

RESUMEN

Se analizó la información de 15 artículos científicos de nueve estados de México, con el objetivo de conocer la factibilidad del cumplimiento de los compromisos propuestos en el Protocolo de Kioto para el 2020 cuyo objetivo primordial fue reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y limitar el aumento de la temperatura global a 2 °C, con base en el potencial que tiene la agricultura de conservación (AC) en México, para secuestrar carbono (C) y con ello reducir la concentración de bióxido de carbono (CO₂). Lo cual servirá para obtener algunas bases científicas para los tomadores de decisiones. Con la aplicación de fórmulas se determinó el coeficiente de fijación de carbono realizando ajustes de algunas variables debido a que las técnicas de agricultura de conservación no son las mismas en los diferentes estados evaluados con respecto al clima, suelo, densidad y rotación de cultivos herbáceos. Se encontró que las técnicas de agricultura de conservación pueden promover la fijación de hasta 1.6 Gg de C año⁻¹ en el suelo, con coeficientes de fijación de carbono de 0.41 y 0.58 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para Siembra Directa (SD) y Labranza Mínima (LM) promisorios para la adopción de agricultura de conservación en cada estado Mexicano.

Palabras clave: agricultura de conservación, labranza mínima, fijación de carbono, cambio climático.

ABSTRACT

The information of 15 scientific articles from nine states of Mexico was analyzed. The objective was to know the feasibility of compliance with the commitments proposed in the Kyoto Protocol for 2020. Where the main objective was to reduce greenhouse gas emissions and limit the increase in global temperature to 2° C, based on the potential of conservation agriculture (CA) in Mexico, to sequester carbon (C) and thereby reduce the concentration of carbon dioxide (CO₂). It will serve to obtain some scientific basis for decision makers. With the application of formulas the coefficient of carbon fixation was determined by making adjustments of some variables. It was because the techniques of conservation agriculture are not the same in the different evaluated states with respect to the climate, soil, density and rotation of arable crops. It was found that conservation agriculture techniques can promote the fixation of up to 1.6 Gg of C year⁻¹ in the soil, with carbon fixation coefficients of 0.41 and 0.58 Mg ha⁻¹ year⁻¹ for Direct Seeding (SD) and Minimum tillage (LM) promising for the adoption of conservation agriculture in each Mexican state.

Key words: Agriculture of conservation, minimum tillage, fixation of carbon, climate change

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una alteración significativa y duradera de los patrones locales o globales del clima, las causas pueden ser o por influencia antrópica (por las actividades humanas). El calentamiento global es un aumento de la temperatura atmosférica terrestre que se ha observado desde finales del siglo XIX. El aumento registrado desde que las mediciones son confiables es de cerca de 0.8 °C, o dos tercios de este aumento desde 1980. La certeza de 90 % (95 % en el 2013) de que la causa del calentamiento es el aumento de los gases con efecto invernadero (GEI), resultantes de las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles (carbón, gasolina, gas natural y petróleo) (Cambio Climático Global, 2016). Así la agricultura es, en parte, causante del cambio climático. Las actividades humanas repercuten en el clima. La temperatura media del planeta aumentará 1 °C en los próximos 30 años, podría subir hasta 6 °C en el 2100. Con este aumento la evaporación de agua de las plantas y el suelo incrementará y tendrá efecto en plagas y enfermedades de la flora y fauna (González y Rodríguez, 2004). La agricultura es responsable de un tercio de las emisiones de gases con efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono, aunque también metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). El bióxido de carbono es requerido por las plantas para realizar la fotosíntesis, transformándolo en carbono que pasa a formar parte de sus estructuras. Este hecho es

considerado como secuestro de carbono en el estudio del cambio climático, y reduce el efecto invernadero. El uso de maquinaria para arar la tierra, la quema de rastrojos y necesidades de combustibles fósiles liberan bióxido de carbono que vuelve a la atmósfera e incrementan la contaminación (González y Rodríguez, 2004).

La adopción de la agricultura de conservación es baja y se practica en 7 % de la superficie agrícola, a nivel mundial (Kassam et al., 2009), pero en el sur de América Latina, la agricultura de conservación se practica en 60 % de la superficie agrícola, principalmente entre agricultores comerciales y grandes. En México, la adopción de la agricultura de conservación es limitada y hasta el ciclo 2011 cubría 41 000 ha de la superficie agrícola (FAO, 2016), sin embargo, la investigación y promoción de la agricultura de conservación data desde 1970 y 1980 (Jiménez *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2013).

La agricultura de conservación es un sistema de producción agrícola sostenible, comprende un conjunto de prácticas agronómicas adaptadas a las exigencias del cultivo y a las condiciones locales de cada región, con técnicas de cultivo y de manejo de suelo que lo protegen de su erosión y degradación, mejoran su calidad y biodiversidad, contribuyen a la preservación de los recursos naturales, agua y aire, sin afectar los niveles de producción de las explotaciones. (González *et al.*, 2015). La reducción de costos se consigue con una ampliación eficiente de estos sistemas, evitando la proliferación incontrolada de malas hierbas, manejando adecuadamente los residuos y empleando las sembradoras adecuadas, e intentando reducir la potencia y el peso de los tractores para limitar los costos de mecanización y la compactación. En el abonado, la tendencia es la localización de productos reduciendo las pérdidas y la contaminación. (Gil y Blanco, 2004). Tecnología flexible y adaptable acorde a las necesidades de cada productor con tres principios: Mínimo movimiento de suelo, dejar restos de cosecha en la superficie después de cada cosecha y rotación de cultivos (Santoyo, 2014), tecnología que se viene practicando desde hace muchos años en diversas partes del mundo. Estudios establecen que la agricultura de conservación son técnicas recomendables para capturar carbono atmosférico, con el efecto favorable que ello conlleva para paliar el efecto invernadero y alcanzar las premisas del segundo período (2013 – 2020) de Compromisos del Protocolo de Kioto, donde los países se reunieron en la Conferencia del Cambio Climático en la COP 21 llevada a cabo del 30 de noviembre al 11 de diciembre 2015 en París, Francia, en donde México participó y entregó sus compromisos desde marzo de 2015.

El objetivo del presente estudio fue mostrar algunas bases científicas a los tomadores de decisiones para poder inferir el cumplimiento de los compromisos propuestos en el Protocolo de Kioto para el 2020, con base en la disminución de la liberación de bióxido

de carbono mediante el secuestro de carbono empleando la agricultura de conservación en México a través del análisis de diferentes investigaciones realizadas en México.

METODOLOGÍA

Para este estudio fueron revisados 15 artículos científicos con información de nueve estados, abarcando cinco regiones de México (Figura 1 y Cuadro 1); los cuales fueron analizados e interpretados mediante conversiones y un análisis estadístico de comparación de medias con ($p < 0.05$). De acuerdo con la literatura revisada, el potencial para secuestro de carbono en particular para las prácticas de agricultura de conservación no siempre es igual y depende de varios factores. Por lo tanto, las siguientes características fueron consideradas:

- Clima
- Tipo de Suelo y densidad
- Rotación de cultivos herbáceos

Figura 1. Lugares donde los estudios fueron llevados a cabo.



Cuadro 1. Localizaciones y sistemas de manejo de suelos comparados.

Región	Estado	Localización	Clasificación de Suelo	Sistema de Manejo de Suelo †
Norte	Sonora	Ciudad. Obregón	Calcic Vertisol	SD vs. AT
	Tamaulipas	Río Bravo	Vertisol	SD, LM vs. AT
	Guanajuato	Celaya	Udic Vertisol	SD vs. AT
Centro-	Tlaxcala	Hueyotlipán	Cambisol	SD, LM vs. AT
Occidente	México	Texcoco	Haplic Phaeozem	SD, LM, vs. AT
	Michoacán	Pátzcuaro	Andisol	SD vs. AT
	Michoacán	Casas Blancas	Andisol	SD, LM vs. AT
	Michoacán	Morelia	Vertisol	SD, LM vs. AT
	Michoacán	Apatzingán	Vertisol	SD, LM vs. AT
	Michoacán	Tepetitlán	Alfisol	SD, LM vs. AT
	Querétaro	Querétaro	Haplic Phaeozem	SD vs. AT
	Sureste	Morelos	Tlaltizapán	Vertisol
Chiapas		Tapachula	Litosol	SD, LM vs. AT
Chiapas		Tuxtla Chico	Rendzina	SD, LM vs. AT
Chiapas		Frontera Hidalgo	Andisol	SD, LM vs. AT

Clasificación de acuerdo a Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2003)

† SD, siembra directa; LM, labranza mínima y AT, agricultura tradicional

La siguiente información viene acompañada de datos experimentales obtenidos en diferentes regiones mexicanas, las cuales comprenden noroeste, noreste, centro, occidente y sureste; esta clasificación de acuerdo al Diario Oficial de la Federación - DOF (2013). De tal manera que las técnicas de agricultura de conservación no son las mismas en los diferentes lugares, ni las diferencias de clima, tipo de suelo, densidad y de rotación de cultivos herbáceos por lo tanto, los valores no son directamente comparables; por lo que se realizaron ajustes de algunas variables para el cálculo de coeficientes únicos de cada práctica de agricultura de conservación, las cuales se describen a continuación.

Técnicas de agricultura de conservación

Estas técnicas se describen para poder clasificar las investigaciones (González *et al.*, (2015).

Siembra directa, no laboreo o Cero Labranza (SD). Esta modalidad indica que el suelo no recibe labor alguna desde la recolección del cultivo hasta la siembra del siguiente, excepto para la aplicación de fertilizantes mediante inyección o incorporación en bandas.

Mínimo Laboreo (ML), consiste en labrar superficialmente sólo días antes de la siembra mediante la utilización de cultivadores, gradas y arados de cincel. El control de las adventicias se realiza mediante herbicidas de bajo impacto ambiental y/o cultivadores.

Profundidad y densidad del suelo

Un problema general relacionado con la conversión de concentraciones de carbono orgánico en el suelo (COS) (%) dentro de contenido de COS (Mg ha⁻¹) en masa de suelo es la falta de valores de densidad aparente, o si está disponible, o si son fiables. En general, las bases de datos de suelos en México carecen de esta, principalmente debido a la técnica de muestreo es complicada. También existen problemas en la profundidad del suelo por lo que se elaboró un mapa de niveles de profundidad del suelo y se utilizó para estimar los valores del COS de los suelos de México. Por esta razón, los intervalos de profundidad promedio se fijaron cada 10 cm hasta 200 cm y se obtuvieron directamente de la información de campo y los informes sobre etapas y tipos de suelo físico (Balbontín *et al.*, 2009).

Los valores de fijación potenciales asociados a cada técnica de agricultura de conservación se refieren a la mayor profundidad en la cual se realizó el estudio de materia orgánica en el suelo (MOS), con profundidades que van de 5 a 60 cm en siembra directa y labranza mínima.

Clima del área de estudio

Los estudios revisados en esta investigación representan áreas con diferentes climas y suelos, indicando el potencial de fijación de carbono para las mismas prácticas de agricultura pudiendo variar considerablemente de un caso a otro, haciendo muy riesgoso asignar una tasa de secuestro de carbono para todo el país. Por lo tanto, se comenzará describiendo las regiones de la República Mexicana basándose en las áreas de los suelos y climas de localización en cada trabajo, (CONEVYT, 2016):

- Región Norte que comprende a los Estados de Sonora, Tamaulipas Guanajuato y Querétaro. Los climas secos se extienden en la mayor parte del norte del país, incluyendo la península de Baja California. En estos climas las temperaturas son extremas. Durante el día llega a estar por arriba de los 40 °C y durante la noche puede disminuir por debajo de los 0 °C. Además sus lluvias son tan escasas que se encuentran entre los 300 y 500 mm anuales. Los climas secos se clasifican en BS, seco estepario para el caso de Tamaulipas, Guanajuato y Querétaro; y Bw seco desértico para el caso de Sonora.
- Región Centro-Occidente que incluye a los Estados de México, Michoacán y Tlaxcala. Estos climas se presentan porque, a pesar de que a esas latitudes les corresponderían climas cálidos, la altitud disminuye la temperatura, y éstas son regiones altas. Las zonas templadas se localizan principalmente en las Sierras Madres Occidental y Oriental en el Sistema Volcánico Transversal y las Sierras de Chiapas, así como en la Mesa del Centro. Estos climas poseen una temperatura media anual que está entre los 12° y los 18 °C; su cantidad de lluvia varía entre los 600 y 1 500 mm, llegando hasta los 3 000 mm en las zonas donde llueve todo el año. Hay varios tipos de climas templados: Cs, templado con lluvias en invierno; Cf, templado con lluvias todo el año y Cw, templado con lluvias en verano que comprende a los 3 estados mencionados anteriormente.
- Región Sureste que comprende a los Estados de Morelos y Chiapas con climas tropicales que se extienden de norte a sur a partir del Trópico de Cáncer, a lo largo de las llanuras costeras del Golfo de México y del océano Pacífico, así como en el istmo de Tehuantepec y en gran parte de la península de Yucatán. Estos climas se caracterizan porque su temperatura media anual es mayor a 18 °C y llueve de 800 a 4 000 mm al año. Dependiendo de sus precipitaciones, existen

dos tipos de climas tropicales: Af, tropical con lluvias todo el año y Aw, tropical con lluvias en verano al cual pertenecen Morelos y Chiapas.

Cálculo del coeficiente de fijación de Carbono

El análisis de efecto sumidero de carbono de la agricultura de conservación fue realizado a través de la literatura revisada en el año 2016, en estudios sobre sistemas de manejo de suelo han tenido varios efectos en el contenido de materia orgánica sobre diferentes periodos. Dichos sistemas incluyen la siembra directa y la mínima labranza en cultivos herbáceos. Para estimar el potencial de la agricultura de conservación para la captura de carbono, en cada estudio, el aumento de materia orgánica (MO) observado en el manejo de sistemas de conservación era evaluado sobre agricultura tradicional (AT) Para cada intervalo de profundidad del suelo estudiado i , aumenta carbono son presentados en términos de cantidades de carbono orgánico (CO) en el suelo. Para esta investigación se aplicaron las siguientes fórmulas (González *et al.*, 2012):

$$CO_i(Kg/ha) = CO_i(Kg_{CO}/100 Kg_{suelo}) \times \rho_i(Kg_{suelo}/m^3) \times D_i(m) \times 10^4 m^2/ha \quad (1)$$

$$CO_i(Mg/ha) = 10^{-3} CO_i(Kg/ha) \quad (2)$$

donde ρ_i es la densidad aparente del suelo y D_i es la profundidad del intervalo estudiado. El contenido total de carbono es determinado por la profundidad total de los estudios D_p , haciendo la sumatoria de las cantidades obtenidas para cada profundidad de suelo del intervalo de muestra, como sigue:

$$CO_{D_p} AT(Mg/ha) = \sum_1^n CO_i AT \quad (3)$$

$$CO_{D_p} AC(Mg/ha) = \sum_1^n CO_i AC \quad (4)$$

donde n es el número total de intervalos de profundidad en la experiencia que se está analizando. Este número de intervalos varía de un estudio a otro, ya que cada autor decide la profundidad total de la muestra. Por lo tanto, en un estudio j , determinado y revisado el promedio anual del crecimiento de carbono almacenado en los suelos bajo agricultura de conservación en comparación con AT a la profundidad total estudiada D_{ij} después de Y_j años de experiencia se obtiene como sigue:

$$\Delta CO_{D_{ij}}(Mg/ha \text{ año}) = \frac{(CO_{D_{ij} AC}(Mg/ha) - CO_{D_{ij} AT}(Mg/ha))}{Y_j} \quad (5)$$

donde $\Delta CO_{D_{ij}}$ es el coeficiente de la fijación anual de carbono para la revisión del estudio j .

Para cada zona climática y la duración del estudio, se asocian incrementos de para diferentes profundidades totales D_j para cada estudio j revisado.

El cálculo de la tasa media anual de fijación de carbono (FC) proviene de la media ponderada de estos aumentos, teniendo en cuenta la profundidad máxima de estudio en cada lugar y período considerado, como sigue:

$$FC (Mg/ha \text{ año}) = \frac{\sum_{j=1}^{j=s} \Delta CO_{2tj} \times D_{tj} / D_{t \max}}{s} \quad (6)$$

donde, la tasa media anual de fijación de carbono es el coeficiente de fijación de carbono media anual. $D_{t \max}$ es la máxima profundidad del muestreo total de todos los estudios correspondientes a la zona climática y el período de tiempo considerado. S es el número total de estudios correspondientes a la zona climática y el período de tiempo considerado.

Evaluación estadística

La validación estadística se realizó mediante la media de los resultados obtenidos y el error estándar de la media con una $p < 0.05$.

RESULTADOS

El contenido de COS es influenciando directa o indirectamente ya sea por actividades humanas (farina *et al.*, 2011;) sino también de una manera importante por el volumen de almacenamiento que se ve afectado por la variabilidad del suelo en campo, características físico - químicas del suelo y las condiciones medioambientales que afectan la absorción y liberación de carbono.

Los resultados presentados por los autores pueden ser muy diferentes dependiendo de la zona donde se realizó el estudio, debido a la importancia del clima, tipo de suelo en el ciclo del carbono. Otros factores que influyen y pueden diferenciar los resultados son la densidad y profundidad del perfil considerado en el estudio; así como las rotaciones de cultivos (González *et al.*, 2012). Existe una gran variabilidad en el potencial de estas técnicas para fijar carbono; por lo tanto, no hay un solo valor de captura de carbono que se aplique a una práctica de ac en particular. el aumento de niveles de MO bajo agricultura de conservación depende del sistema de manejo del suelo y otros factores involucrados, tales como las condiciones climáticas de suelo (humedad y temperatura), la composición bioquímica del material orgánico, la disponibilidad de nutrientes y el nivel de perturbación del suelo (González *et al.*, 2012).

Coeficientes de fijación de carbono para siembra directa

El cuadro 2 muestra los incrementos de carbono para la siembra directa comparada con la AT según los artículos revisados demuestran que la siembra directa y la conservación de residuos estimulan el secuestro de carbono para reducir la erosión del suelo, la lixiviación y la escorrentía de productos químicos agrícolas; los cuales son benéficos para la captura de carbono.

La materia orgánica del suelo es importante en el ciclo del carbono terrestre a nivel mundial; ya que aproximadamente el 74 % del carbono orgánico activo se almacena en los suelos. el manejo de los sistemas agrícolas y especialmente la retención de los residuos del cultivo tiene un importante impacto en el contenido de materia orgánica del suelo y su composición (Govaerts *et al.*, 2007). por ejemplo, albaladejo *et al.* (1998) informaron que en suelo bajo las prácticas agrícolas convencionales con eliminación de los residuos de los cultivos, el contenido de carbono orgánico puede disminuir en un 26 %, mientras que dabney *et al.* (2004) reportaron una disminución del contenido de carbono orgánico en un 47 % dentro de los 5 años. extracción y eliminación, incluso parcial de residuos de maíz y de trigo disminuyeron de manera significativa la materia orgánica del suelo.

Otras prácticas de manejo, como lomos cerrados y rotación de cultivos, no tuvieron ningún efecto sobre la MOS, pero la labranza si presento efecto positivo. La MOS fue mayor bajo camas de cultivo no labradas que de camas cultivadas tanto con retención de residuos de los cultivos. la siembra directa favorece los agregados estables y protege físicamente la MOS por lo tanto, la reducción de las tasas de mineralización aumenta la MOS de 0-5 cm en la capa de suelo (lichter *et al.*, 2008). la rotación de cultivos, retención de residuos y reducción de la labranza dará lugar al aumento del contenido de carbono.

Cuadro 2. Lista de estudios referidos al incremento de siembra directa con diferentes tipos de clima.

estudio	clima	periodo de estudio (años)	máxima profundidad de suelo muestreada (cm)	incremento de c sobre labranza tradicional (mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	secuencia de cultivos ^a
ms (monneveux <i>et al.</i> , 2006)	Aw	1	30	1,03	monocultivo de maíz
tl (covaleda <i>et al.</i> , 2009)	Cw	4	20	1,40	trigo-cebada-maíz

gt (follett <i>et al.</i> , 2005)	Bs	5	30	1,07	maíz-trigo y maíz-frijol
mn1 (roldán <i>et al.</i> , 2003)	Cw	5	15	1,34	monocultivo de maíz
mn2 (salinas <i>et al.</i> , 2001)	Cw	6	15	1,11	monocultivo de maíz
mn3 (salinas <i>et al.</i> , 2001)	Cw	6	5	1,31	monocultivo de maíz
mc1 (govaerts <i>et al.</i> , 2007)	Cw	6	20	1,07	maíz-trigo
mc2 (patino <i>et al.</i> , 2009)	Cw	6	20	1,11	maíz-trigo
mc3 (fuentes <i>et al.</i> , 2010)	Cw	16	10	0,93	maíz-trigo
mc4 (fuentes <i>et al.</i> , 2009)	Cw	16	20	0,97	maíz-trigo
mc5 (dendooven <i>et al.</i> , 2012)	Cw	10	60	1,69	maíz-trigo
ts1 (roldán <i>et al.</i> , 2005)	Bs	3	15	1,02	monocultivo de maíz
ts2 (roldán <i>et al.</i> , 2005)	Bs	3	15	1,29	monocultivo de trigo
sr (govaerts <i>et al.</i> , 2006)	Bw	12	7	1,10	maíz-trigo
cs (baéz <i>et al.</i> , 2002)	Aw	1	40	1,08	monocultivo de maíz
qt (mora <i>et al.</i> , 2014)	Bs	8	5	1,73	monocultivo de maíz
Promedio			20,44	1,21	
desv est (p < 0,05)				0,24	

ms, Morelos; tl, Tlaxcala; gt, Guanajuato; mn, Michoacán; mc, Estado de México; ts, Tamaulipas; sr, Sonora; cs, Chiapas; qt, Querétaro.

^a nombres científicos: *zea mays l.*; *triticum l.*; *hordeum vulgare l.*; *phaseolus vulgaris*.

La mayoría de los sitios de experimentación presentan una tendencia positiva con siembra directa, al no labrar las tierras para los cultivos; es decir presentan aumentos superiores a uno, lo cual conlleva a efectos favorables del secuestro de carbono con la agricultura de conservación, tanto en los climas bs (secos esteparios) con una media de 1.28 mg ha⁻¹, así como en los cw (templado con lluvias en verano) con promedio de 1.21 mg ha⁻¹ y para el tipo de clima aw (tropical con lluvias en verano), una media de 1.05 mg ha⁻¹.

La profundidad media total de todos los ensayos reportados es de 20.44 cm que se detecta en general en esta investigación que la agricultura de conservación; sin embargo, los datos pueden variar. de acuerdo con roldán *et al.* (2006) reportó que el tipo de cultivo, el sistema de labranza y la profundidad del suelo tenían efectos significativos (p < 0,001) en carbono orgánico del suelo. en la capa de 0-5 cm, carbono orgánico fue mayor bajo siembra directa que bajo AT, en particular en el suelo cultivado con frijol por debajo de la capa de 0-5 cm. la at resultó que el carbono orgánico más bajo fue en la capa 0-15 cm del suelo.

La rotación de los cultivos es un elemento preponderante de cara a la agricultura de conservación y es necesario evaluar aún más sus efectos; en estos trabajos se detectó que un efecto positivo en la simbiosis de maíz – trigo y en los monocultivos de maíz; sin embargo, también se hallaron casos de trigo- cebada-maíz y maíz-frijol de igual manera con efectos positivos.

Stewart *et al.* (2008) indicó que la capacidad de un suelo para el secuestro de carbono está determinada principalmente por la protección de carbono en los agregados del suelo. las existencias de carbono del suelo cambian con la labranza y prácticas de manejo (govaerts *et al.* 2009a); fuentes *et al.* (2010) informaron del mismo experimento como este estudio que el contenido de COS en la capa de 0-10 cm se vio afectada por la labranza y el manejo de residuos. el mayor contenido de COS era el que se encuentra en la capa de 0-5 cm con siembra directa con rotación de cultivos. los suelos con siembra directa y retención de residuos (tanto para el monocultivo y rotación), mostró mayores porcentajes de COS, sumidero de carbono que con at y retención de residuos y sin retención de residuos. en consecuencia, la combinación de siembra directa con retención de residuos es lo que hace agregados más estables, protege carbono y por lo tanto aumenta el secuestro del mismo; y no sólo siembra directa o retención de residuos separadamente.

Coeficientes de fijación de carbono para labranza mínima

En el cuadro 3 se presentan cinco estados de la república mexicana que disminuyeron la AT a labranza mínima, que se define como una práctica agronómica de agricultura de conservación en cultivos anuales, en la que las únicas labores de alteración del perfil del suelo que se realizan son de tipo vertical y, al menos un 30 % de su superficie se encuentra cubierta por restos vegetales.

Cuadro 3. Lista de estudios referidos al incremento de labranza mínima con diferentes tipos de clima.

Estudio	Clima	Periodo de estudio (años)	Máxima profundidad de suelo muestreada (cm)	Incremento de c sobre at (mg ha ⁻¹ año)	Secuencia de cultivo ^a
tl (covalada <i>et al.</i> , 2009)	cw	4	20	1,24	trigo-cebada-maíz
mn1 (roldán <i>et al.</i> , 2003)	cw	5	15	1,26	monocultivo de maíz
cm1 (govaerts <i>et al.</i> , 2007)	cw	6	20	1,00	maíz-trigo
cm2 (patíño <i>et al.</i> , 2008)	cw	6	20	1,01	maíz-trigo
ts1 (roldán <i>et al.</i> , 2005)	bs	3	15	1,00	monocultivo de maíz
ts2 (roldán <i>et al.</i> , 2005)	bs	3	15	1,08	monocultivo de trigo
cs (báez <i>et al.</i> , 2002)	aw	1	40	1,18	monocultivo de maíz
promedio			20,71	1,11	
desv est				0,11	

tl, Tlaxcala; mn, Michoacán; mc, Estado de México; ts, Tamaulipas; cs, Chiapas.

^a nombres científicos: *zea mays l.*; *triticum l.*; *hordeum vulgare l.*

Resultados revisados indican que la adición de los residuos orgánicos previamente cultivados utilizando la at, favorecen claramente la acumulación de materia orgánica del suelo (mos) en comparación con el tratamiento tradicional (báez *et al.*, 2002).

Estas prácticas de agricultura de conservación de siembra directa y labranza mínima resultan una mejora para la acumulación de COS, ya que en esta investigación se obtuvo un aumento en promedio de 1.11 y 1.21 mg ha⁻¹ año⁻¹; con labranza mínima y siembra directa; es decir, existe una diferencia de 0.10 mg ha⁻¹ año⁻¹; con lo cual se comprueba que el mejor incremento es con siembra directa sobre la AT a diferencia de otros trabajos para este caso, labranza mínima siempre supuso incrementos de carbono en el suelo (González *et al.*, 2012).

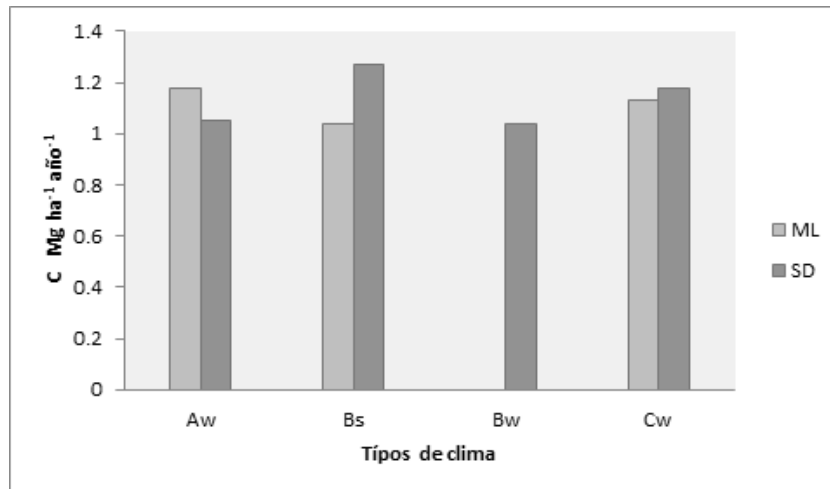
De acuerdo al boletín de suelos de la FAO no. 78 (2002) menciona que los agricultores por lo general usan la labranza mínima en situaciones muy específicas; como es, para cambiar de cultivo; antes de la siembra del segundo cultivo; la tierra se limpia. en el caso de la compactación de horizontes menos profundos puede ser necesario el subsolado en el primer año y probablemente en el segundo, antes de cambiar a un verdadero sistema de labranza mínima. los sistemas de la agricultura de conservación basados en labranza mínima son parte del sistema total de producción, la competencia por residuos para la cobertura del suelo. el desarrollo de la labranza mínima y la siembra directa como alternativas a las prácticas convencionales introducidas en climas templados; dependiendo del cultivo a sembrar, la superficie del suelo a ser disturbada se limita a una angosta faja de entre 10 y 50 cm de ancho. en esta faja es incorporada parcialmente la cobertura vegetal y la superficie conserva aún entre 60 y 80 % de protección contra las gotas de lluvia y los rayos solares.

En el estudio de Chiapas se promueve la utilización de tecnologías de producción que garanticen la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) mediante el secuestro de carbono in situ como en la agricultura de conservación y labranza mínima (lal, 2004), que considera la permanencia del suelo del al menos un 30 % de los residuos de cosecha hasta la próxima siembra para conservar el suelo y el agua. últimamente la siembra directa y labranza mínima han demostrado alta eficiencia para secuestrar carbono y sucesivamente la recuperación continua de la MO (lal, 2003). Este trabajo no es la excepción, se presenta un aumento máximo de 1.26 y un mínimo de 1.00 mg ha⁻¹ año⁻¹; respectivamente, de carbono sobre la AT.

Los tipos de climas tan diversos que existen en México, afectan en algunos casos tanto positiva como negativamente. en la figura 2, se aprecia una media de los cuatro tipos de climas identificados en este trabajo de investigación y el carbono capturado en mg ha⁻¹ año⁻¹ con cada clima. aunque pareciera alto en el clima Bs que es el seco estepario con la práctica de siembra directa, se debe a que el estudio de Querétaro con 8 años de transición de agricultura tradicional agricultura de conservación a inicio con un 1.5 % al 2013 incrementó a 2.6 % de MOS con lo cual se mejoró la fertilidad del suelo, disminuyó la utilización de grandes cantidades de fertilizantes. así mismo, la MO ayuda a retener más la humedad y nutrientes, permitiendo un mejor aprovechamiento (mora, 2014). le sigue en rendimiento de carbono (mg⁻¹ ha⁻¹) de acuerdo al clima Cw, templado con lluvias en verano, por las condiciones del suelo, y por concentrarse la matriz del centro de investigación de maíz y mejoramiento y trigo (CIMMYT) que incentiva a este tipo de experimentos dentro de sus parcelas y el clima Aw, que es el tropical con lluvias en verano con las condiciones necesarias para capturar carbono con siembra directa, según

esta investigación aunque cada sitio de estudio tiene sus propias condiciones, se debe propiciar factores ideales para fijar más carbono en el suelo.

Figura 2. Fijación de carbono en siembra directa y labranza mínima para climas tropical con lluvias en verano (aw), seco estepario (bs), seco desértico (bw) y templado con lluvias en verano (cw).



Dentro de la misma figura también se hace referencia a la labranza mínima que en la mayoría de los climas es inferior con respecto a la siembra directa; a excepción del clima tropical con lluvias en verano (aw) donde la tendencia de labranza mínima es superior y eso se debe a la fertilidad del suelo y el clima relacionado con aumento de temperatura y retención de humedad, se presenta una diferencia 0,13 mg ha⁻¹ año⁻¹ con respecto a la capacidad de captura de c en la siembra directa.

Promedio potencial de fijación de bióxido de carbono basado en la superficie bajo agricultura de conservación en México

Se realizó una evaluación de los coeficientes estimados y representa la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero en México, teniendo en cuenta el porcentaje de tierra cultivable ocupada por cultivos bajo agricultura de conservación.

Al respecto, datos oficiales en México que se presentan en la encuesta nacional agropecuaria (ena) realizada por el instituto nacional de estadística geografía e información (INEGI, 2014) en donde se aprecia el aumento de la superficie con agricultura de conservación con respecto al año 2012 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Área cultivada bajo agricultura de conservación en México.

	Cultivos arables (2014)	%	Cultivos arables (2012)	%
total (ha)	27.496.118	100	25.808.000	100
sd (ha)	1.502.392	34,3	972.394	
			1.294.041	
lm (ha)	1.756.199	26,6	22,2	
			19,6	

Elaboración propia con datos de la ENA-INEGI, 2014.

Dados esos valores del uso de la tierra en México en cultivos bajo agricultura de conservación, las fijaciones potenciales de carbono en México son presentados en el cuadro 5 para cada una de las técnicas de agricultura de conservación; es decir, la siembra directa y labranza mínima con base en la investigación realizada y los datos de superficie agrícola en México dedicada a la agricultura de conservación.

Cuadro 5. Área cultivada en México bajo agricultura de conservación (2014) y potencial de fijación de carbono sobre agricultura tradicional.

Práctica agrícola	Coefficiente de fijación de carbono (mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Área (ha)	Potencial de fijación de c (mg año ⁻¹)
sd	0,41	1.502.392	617.085,64
ml	0,58	1.756.199	1.010.746,78
total		3.258.591	1.627.832,42

CONCLUSIONES

Alrededor de 1.6 Gg C pueden ser fijadas cada año sobre la agricultura tradicional, así el sumidero de carbono en el suelo es un efecto promovido por la agricultura de conservación. Se considera que la labranza mínima obtiene un coeficiente de fijación de carbono superior al de siembra directa debido a que son tierras que se encuentran en transición y se incluye durante la siembra la retención de residuos. La aplicación de agricultura de conservación es una herramienta que ayuda a incentivar a los productores a adoptar estas técnicas de producción por sus múltiples beneficios y al Gobierno de México a emitir nuevas políticas públicas que beneficie a la producción agrícola sostenible. Debido a la influencia de las características del suelo, profundidad, al periodo de tiempo con labores conservacionistas y del clima con potencial para fijación de carbono. La aplicación de agricultura de conservación debe ser integral, en estricto sentido de seguir las prácticas de siembra directa y labranza mínima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albaladejo, J., M. Martínez-Mena, A. Roldan, and V. Castillo. 1998. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment. *Soil Use Manage.* 14:1–5.
- Báez A., Etchevers J.D., Hidalgo C., Prat C., Ordaz V., Núñez R., 2002. C orgánico y P-Olsen en tepetates cultivados de México. *Agrociencia* 36: 643–653.
- Balbotín, C., Cruz, C. O., Paz, F., & Etchevers, J. D. (2009). Soil Carbon Sequestration in Different Ecoregions of Mexico. En Balbotín, Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect (págs. 71-96). Madison, WI 53711, USA.: SSSA Special Publication 57. ASA–CSSA–SSSA, 677 S. Segoe Rd.
- Covaleda Sara Pajares, Silvia Gallardo, Juan F. Padilla, Aurelio; Etchevers Jorge D. 2009. Effect of different agricultural management systems on chemical fertility in cultivated tepetates of the Mexican transvolcanic belt. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 129, Edición 4. Pp. 422-427
- Dabney SM, Wilson GV, McGregor KC, Foster GR. 2004. History, residue, and tillage effects on erosion of loessial soil. *Trans Am Soc Agric Eng* 47:676–775.
- Dendooven L.; Gutiérrez-Oliva V.F.; Patiño-Zuñiga L.; and Govaerts B. 2012. Greenhouse gas emissions under conservation agriculture compared to traditional cultivation of maize in the central highlands of Mexico. *Science of the Total Environment* 431: 237–244.
- Diario Oficial de la Federación. 2013. México. <http://www.dof.gob.mx/index.php?year=2013&month=01&day=10> (Consulta: julio 2016).
- FAO.2002. Boletín de Suelos de la FAO No.78. Agricultura de Conservación. Estudio de Casos en América Latina y África. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.
- FAO.2016. <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html> (Consulta: julio 2016).
- Farina R., Seddaiu G., Orsini R., Steglich E., Roggero P.P., Francaviglia R., 2011. Soil carbon dynamics and crop productivity as influenced by climate change in a rainfed cereal system under contrasting tillage using EPIC. *Soil Till. Res.* 112 (1), 36–46.
- Follett Ronald F., Castellanos Javier Z., Buenger Edward D. 2005. Carbon dynamics and sequestration in an irrigated Vertisol in Central Mexico. *Soil Till Res:* 83:148-158.
- Fuentes M.; Govaerts B.; De León F.; Hidalgo C.; Dendooven L. and Etchevers J. 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.
- Fuentes M.; Govaerts B.; Hidalgo C.; Etchevers J.; Sayre K.D.; Dendooven L. 2010. Organic carbon and stable ¹³C isotope in conservation agriculture and conventional systems. *Soil Biol Biochem* 42:551–557.
- Gil Ribes J. A., y Blanco Roldán G. L. 2004. Maquinaria utilizada en Agricultura de Conservación: Cultivos Herbáceos. En B. R. Gil Ribes (Ed.), *Tecnología y Sistemas en Agricultura de Conservación* (págs. 22.1-22.16). Córdoba, España: A.E.A.C.-S.V.
- González Sánchez, E. J., and Rodríguez Lizana, A. 2004. Agricultura de Conservación y medio ambiente. En Gil Ribes J.A, Blanco Roldán G.L, Rodríguez Lizana, A. (Eds.) *Tecnología y Sistemas en Agricultura de Conservación* (Primera ed., págs. 1.1-1.11). Córdoba, España: Asociación Española de Agricultura de Conserva-

ción- Suelos Vivos. A.E.A.C-A.V.

González-Sánchez E.J., Ordóñez-Fernández R., Carbonell-Bojollo R., Veroz-González O. and Gil-Ribes J.A. 2012. Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil Till.Res.* 122, 52-60.

González-Sánchez E.J., Veroz-González O., Blanco-Roldán G.L., Carbonell-Bojollo R. 2015. A renewed view of conservation agriculture and its evolution over the last decade in Spain. *Soil and Tillage Research*. Volume 146, Part B, pp. 204–212

Govaerts B.; Sayre K.D.; Ceballos-Ramírez J.M.; Limón-Ortega A. and Dendooven L. 2006. Conventionally tilled and permanent raised beds with different crop residue management: Effects on soil C and N dynamics. *Plant and Soil* 280:143–155.

Govaerts B.; Sayre K.D.; Lichter K.; Dendooven L.; Deckers J. 2007. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant Soil* 291:39–54.

Govaerts B.; Verhulst N.; Castellanos-Navarrete A.; Sayre K.D.; Dixon J.; Dendooven L. 2009a. Conservation agriculture and soil carbon sequestration; between myth and farmer reality. *Crit Rev Plant Sci* 28:97–122

<http://cambioclimaticoglobal.com/> (Consulta: enero 2016).

http://www.conevyt.org.mx/cursos/cursos/cnaturales_v2/interface/main/recursos/antologia/cnant_4_13.htm. (Consulta: abril 2016).

INEGI. 2014. Encuesta Nacional Agropecuaria. (ENA) Web. http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015_08_8.pdf (Consulta: julio 2016).

Jiménez González Carlos A, Maciel Pérez L. H., and Alfonso. 2004. Principios y fundamentos de labranza de conservación: Guía para su implementación. México: Folleto Técnico Núm. 24. Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón.

Kassam, Amir, Friedrich T., Shaxson F., and Jules. 2009. The spread of Conservation Agriculture: justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 195-214.

Lal R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304:1623– 1627

Lal, R. 2003. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Crit. Rev. Plant Sci.* 22: 151-184.

Lichter K, Govaerts B, Six J, Sayre KD, Deckers J, Dendooven L. 2008. Aggregation and C and N contents of soil organic matter fractions in the permanent raised-bed planting system in the Highlands of Central Mexico. *Plant Soil* 305:237–252

Monneveux P., E. Quillerou C. Sanchez1 and J. Lopez-Cesati. 2006. Effect of zero tillage and residues conservation on continuous maize cropping in a subtropical environment (México), *Plant and Soil* 279: 95-105.

Mora Gutiérrez M. 2014. Evaluación de 12 variedades de maíz en labranza de conservación en el módulo demostrativo Regina. INIFAP-SAGARPA- Fundación PRODUCE Querétaro y Secretaria de Desarrollo Agropecuario, Querétaro. *Despegable Informativo Núm. 3*

Patiño-Zúñiga L.; Ceja-Navarro J.A.; Govaerts B.; Luna-Guido M. and Dendooven L. 2009. The effect of different tillage and residue management practices on soil characteristics, inorganic N dynamics and emissions of N₂O, CO₂ and CH₄ in the central highlands of Mexico: a laboratory study. *Plant and Soil* 314: 231-241.

Ramírez-López, Alejandro; Beuchelt, Tina Désirée; Velasco-Misael, Melchor; 2013. Factores de adopción y abandono del sistema de agricultura de conservación en los Valles Altos de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, num. Abril-Junio, pp. 195-214

Roldán A., Caravaca F., Hernández M.T., García C., Sánchez- Brito C., Tiscareño M., 2003. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). *Soil Till. Res.* 72, 65–73.

Roldán A.; Salinas-García J.R.; Alguacil M.M. and Caravaca F. 2005. Changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. *Applied Soil Ecology* 30: 11–20.

Roldán A.; Salinas-García J.R.; Alguacil M.M.; Díaz, E. and Caravaca F. 2006. Soil

enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. *Geoderma* 129: 178– 185.

Salinas-García J.; Báez-González A.D; Tiscareño-López M.; Rosales-Robles E.2001. Residue removal and tillage interaction effects on soil properties under rain-fed corn production in Central Mexico. *Soil Till Res.* 59: 67-79.

Santoyo Cuevas E. 2014. Agricultura de Conservación, tecnología con futuro en el Estado de México. México: Secretaria de Desarrollo Agropecuario. SEDAGRO_ICAMEX.

Soil Survey Staff, 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. USDA-NRCS, Washington, DC.

Stewart C, Plante A, Paustian K, Conant R, Six J.2008. Soil Carbon Saturation: Linking concept and measurable carbón pools. *SSSAJ* 72:379–392.

Capítulo VIII
**PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE
A PARTIR DE DESECHOS AGROPECUARIOS
Y MATERIA ORGÁNICA**

*Alejandra Sánchez García¹; Bernardino Sánchez Díaz¹;
Sergio Trujillo Diosdado¹; Gerardo Prado Sánchez¹*

¹Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, Calle Primavera S/N, Colonia Santa María Nativitas Chimalhuacán, C.P. 53330, Edo. De México, México.

alex.ciencias@gmail.com; bernardsanz@hotmail.com; profe_teschi777@yahoo.com.mx

RESUMEN

Se elaboraron tres tipos de biofertilizantes a base de excretas de vaca, para evaluar su eficacia en el crecimiento de hortalizas. Para determinar las propiedades de cada concentrado se determinó el pH, la Conductividad Eléctrica (CE), el Nitrógeno total (N), el Fosforo total (P), el Potasio total (K), Contenido de Hierro (Fe), acides, alcalinidad y Sólidos Disueltos Totales. Los tres biofertilizantes (ceniza, mineral y frutal), mostraron un pH ligeramente ácido y alta concentración de SDT, en especial en el de fibra de fruta, lo cual concuerda con los datos de la literatura. Al adicionarlos en tierra los datos muestran que se adicionaban diferentes cantidades de macronutrientes, siendo el biofertilizante de ceniza el que tubo valores de macronutrientes más altos. Se aplicaron 100 ml de cada fertilizante cada 15 días durante el crecimiento de los 3 cultivos diferentes (cebolla, rábano y chile), para realizar una evaluación del tamaño de las raíces, la altura de las plantas y el tiempo de germinación. El biofertilizante mineral presento menor tiempo de germinación y mayor tasa de crecimiento en la plántula y las raíces; seguido por el tratamiento de fibra de frutas y ceniza.

Palabras clave: calidad del suelo, macronutrientes, crecimiento en plantas.

ABSTRACT

Three types of biofertilizers were elaborated based on cow excreta, to evaluate their efficiency in the growth of vegetables. To determine the properties of each concentrate, the pH was measured, Electric Conductivity (CE), Total Nitrogen (N), Total Phosphorus (P), Total Potassium (K), Iron Content (Fe), Acids, Alkalinity and Total Dissolved Solids (TDS). The three biofertilizers (ash, mineral and fruit), mostraron un pH ligeramente **ácido y alta concentración de TDS**, en especial en el de fibra de fruta, which agrees with the data of the literature. By adding them on land, the data show that different amounts of macronutrients were added, with the ash biofertilizer being the one that had the highest macronutrient values. 100 ml of each fertilizer was applied every 15 days during the growth of the 3 different crops (onion, radish and chili), to make an evaluation of the size of the roots, the height of the plants and the time of germination. The mineral biofertilizer showed a shorter germination time and a higher growth rate in the seedling and roots; followed by the treatment of fruit fiber and ash.

Key words: soil quality, macronutrients, plant growth.

INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la revolución verde el efecto de las actividades agrícolas en la degradación de los recursos naturales es evidente en varias regiones de nuestro país, y debe ser evitado o por lo menos controlado (Malakouti, *et al.*, 1999; Terry *et al.*, 2003). También debemos agregar al problema el agotamiento de los servicios ecosistémicos debido al uso de prácticas agrícolas inadecuadas que resulta en el agotamiento del suelo, ya que este recurso representa la base de la producción de alimentos y de otras comodidades básicas, tanto en las comunidades rurales, como urbana (Méndez & Viteri, 2007; Restrepo, 2007).

La sobreexplotación del suelo, en conjunto con el uso excesivo de maquinaria y agroquímicos, el riego por aguas que generan procesos de salinización y la falta de incorporación de materia orgánica, han conducido a la degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas que determinan la capacidad productiva de los suelos y por tanto a la producción de alimentos de calidad en México (Soria *et al.*, 2001; Viteri, 2002). Por ejemplo, del área total del planeta solo el 13% se puede utilizar para la producción agrícola (el 98% de los alimentos proviene de esta área), y existen tres fuentes principales de crecimiento en la producción de cultivos: el aumento de la tierra cultivada, el incremento de la frecuencia de las cosechas y el aumento de los rendimientos (FAO, 2002; Santillana, 2006).

La deficiencia de nutrientes del suelo causada por la sobreexplotación, especialmente la de N, es corregida a través de la adición de fertilizantes. Sin embargo, los altos costos limitan su uso, sobre todo en los países en desarrollo como México, donde la necesidad de incrementar la producción de alimentos es urgente (Alarcón y Ferrara, 2000; Pulido *et al.*, 2003). Se estima que los cultivos absorben de un 20 a 40% del fertilizante aplicado, el resto se pierde por diversos mecanismos, generando cuantiosas pérdidas económicas y contaminación ambiental, tal como la eutrofización de cuerpos de agua, lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono estratosférica e incremento del efecto de invernadero (Grageda *et al.*, 2012).

En las últimas décadas se ha tomado conciencia del agotamiento de los recursos naturales debido a la explotación desmesurada de los mismos, por lo que en el ámbito agrícola, el objetivo es lograr altos rendimientos por unidad de superficie para satisfacer la creciente demanda de alimentos, a partir de la viabilidad técnica, rentabilidad económica y sin contaminación (Armenta, *et al.*, 2010; Grageda *et al.*, 2012). Por ello en las últimas décadas ha crecido el uso de inoculantes biológicos (biofertilizantes), la incorporación de enmiendas orgánicas, las prácticas agrícolas que tienden a la conservación del suelo, la rotación de cultivos y el uso de leguminosas de cobertura, entre otras prácticas, ya que pueden a largo plazo contribuir a la recuperación de las poblaciones microbianas del suelo y con ello mejorar la calidad de este recurso (Santillana, 2016).

La interpretación del término biofertilizante es muy amplia, representando desde microorganismos, abonos verdes y estiércoles, hasta extractos de plantas. De manera sintetizada, podemos decir que son productos que contienen microorganismos, que al ser inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas y le ayudan a su nutrición y protección (Grageda *et al.*, 2012). En México el mayor impacto de los biofertilizantes fue en los años 70's y 80's con la fijación biológica de nitrógeno en soya y garbanzo, donde se logró sustituir la fertilización nitrogenada en Sinaloa (Armenta, *et al.*, 2010).

Pero la producción de biofertilizantes se centra en países desarrollados donde se fabrican por empresas gubernamentales o privadas a partir de micorrizas, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y agentes de biocontrol como *Trichoderma* (Terry *et al.*, 2003). Los inoculantes son inocuos y se requiere de un cuidadoso manejo para no menguar su efectividad, por lo que en muchos países en desarrollo no hay industrias de inoculantes, lo cual hace aún más difícil su popularización (Bashan, 2008).

Actualmente los cultivos en México presentan una alta tasa de contaminación debido al uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos; el nitrógeno es el nutriente

aplicado más extensivamente como fertilizante, seguido por el fósforo y potasio. Los fertilizantes nitrogenados se caracterizan por su baja eficiencia en su uso por los cultivos, lo que trae como consecuencia un impacto ambiental adverso, tal como contaminación de mantos acuíferos, la eutrofización, lluvia ácida y posteriormente una contribución con el calentamiento global. El fosforo que se adiciona con los fertilizantes sintéticos tiene cantidades importantes de cadmio dependiendo del tipo de roca por lo que el uso continuo de este fertilizante induce la acumulación en el suelo de cadmio, elemento que es indeseable por su riesgo de toxicidad en plantas y animales (Lucy *et al.*, 2004; Armenta, *et al.*, 2010).

Tipos y modos de acción de los biofertilizantes

Los biofertilizantes son preparados de microorganismos aplicados al suelo y/o plantas con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética así como disminuir la contaminación generada por los agroquímicos (Pilido *et al.*, 2003). Los microorganismos utilizados en los biofertilizantes son clasificados dentro de dos grupos: El primer grupo incluye microorganismos que tienen la capacidad de sintetizar sustancias que promueven el crecimiento de la planta, fijando nitrógeno atmosférico, solubilizando hierro y fósforo inorgánico y mejorando la tolerancia al stress por sequía, salinidad, metales tóxicos y exceso de pesticidas, por parte de la planta. El segundo grupo incluye microorganismos los cuales son capaces de disminuir o prevenir los efectos de deterioro de microorganismos patógenos (Lucy *et al.*, 2004; Armenta, *et al.*, 2010).

Los hongos son adecuados como biofertilizantes debido a que incrementan el volumen de exploración de las raíces (ya que las hifas del hongo actúan como una extensión), incrementan la captación de agua y nutrientes como P, N, K y Ca, incrementan la tolerancia a los cambios de temperatura y acidez extrema del suelo causadas por la presencia de Al, Mg y S, proveen protección contra ciertos patógenos, las raíces permanecen activas más tiempo, y mejoran la estructura del suelo ayudando a mantener unidos a los agregados gracias al micelio y secreción de glomalinas (Alarcón y Ferrara, 2000).

Las bacterias pueden mejorar el estado nutricional de las plantas debido a que ayudan a la fijación biológica de N₂, producen reguladores del crecimiento, vitaminas y otras sustancias, tienen disponibilidad de nutrientes en la rizosfera, incrementan el área superficial de la raíz y controlan la aparición de microorganismos patogénicos (Grageda *et al.*, 2012). Con el género *Pseudomonas*, por ejemplo, los efectos positivos que ejercen estas bacterias en las plantas radican en que producen y segregan reguladores

del crecimiento de plantas como auxinas, giberelinas y citoquininas, mejorando procesos como germinación de semillas, la nutrición mineral, el desarrollo de raíces y el empleo del agua (Santillana, 2006).

Las excretas contienen nutrientes que los cultivos pueden utilizar, pero también poseen altas concentraciones de coliformes fecales que producen enfermedades infecciosas, capaces de causar hasta la muerte en los humanos (Restrepo, 2007). Por ello, para utilizarlas como fertilizantes, es necesario darles un tratamiento que elimine estos agentes infecciosos, una forma de hacerlo es mediante la biodigestión. Al usar un biodigestor se utilizan los nutrientes contenidos en las excretas y se reduce la contaminación ambiental, ya que convierte las excretas que contienen microorganismos patógenos como bacterias, protozoos, larvas, huevos, pupas de insectos, etc., en residuos útiles y sin riesgo de transmisión de enfermedades (Soria *et al.*, 2001). La composición del bioabono en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5 (Restrepo, 2007).

Para que las bacterias que participan en la biodigestión de los materiales que componen el biofertilizante a base excreta de cerdo y aseguren su ciclo biológico en el proceso de digestión anaerobia, Soria *et al.* (2001), señala que se deben controlar factores como la temperatura, presión, el tiempo de retención, la relación C/N, el porcentaje de sólidos, el pH y la agitación.

Actualmente los cultivos en México presentan una alta tasa de contaminación debido al uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos; el nitrógeno es el nutriente aplicado más extensivamente como fertilizante, seguido por el fósforo y potasio. Los fertilizantes nitrogenados se caracterizan por su baja eficiencia en su uso por los cultivos, lo que trae como consecuencia un impacto ambiental adverso, tal como contaminación de mantos acuíferos, la eutrofización, lluvia ácida y posteriormente una contribución con el calentamiento global. El fosforo que se adiciona con los fertilizantes sintéticos tiene cantidades importantes de cadmio dependiendo del tipo de roca por lo que el uso continuo de este fertilizante induce la acumulación en el suelo de cadmio, elemento que es indeseable por su riesgo de toxicidad en plantas y animales (Armenta, *et al.*, 2010).

Otro problema causado por la revolución verde y el uso de los agroquímicos es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas con nitratos y la emisión de gases de nitrógeno a la atmósfera (que es consecuencia del uso inadecuado de fertilizantes nitrogenados), y existe otro riesgo por la acumulación de nitratos en frutos y verduras comestibles, lo cual es de alto riesgo para la salud humana cuando la concentración supera

el 0.2% en las partes comestibles de las plantas como frutos de hortalizas o verduras y en agua potable llega a 10 ppm (Malakouti, *et al.*, 1999). Debido a esto el objetivo de este proyecto fue producir un biofertilizante orgánico a partir de desechos agropecuarios y materia orgánica para mejorar el crecimiento de hortalizas.

METODOLOGÍA

Para realizar el biofertilizante se realizaron tres concentrados en toneles plásticos de 20L equipados con un aro metálico para que la mezcla pueda tener un cierre hermético. Cada tonel tiene una válvula para controlar la presión a partir de un niple roscado de 7 cm de largo y 3/8 a 1/2 pulgada de diámetro, adaptadas en la tapa para permitir la salida de los gases. En cada recipiente se colocó un concentrado diferente (Ver Tabla 1), para un biofertilizante sencillo, uno adicionado con materia orgánica como fibra de fruta y verdura, y el tercero con un concentrado mineral específico para hortalizas, con el fin de comparar su rendimiento.

Tabla 1. Ingredientes de los concentrados en los biofertilizantes.

Biofertilizante sencillo	Biofertilizante con fibra de fruta	Biofertilizante concentrado
Agua 180 lts	Agua 180 lts	Agua 180 lts
Excremento 50 kg	Excremento 50 kg	Excremento 50 kg
Melaza 1 lts	Melaza 1 lts	Melaza 1 lts
Suero 2 lts	Suero 2 lts	Roca fosfatada 200 g
Ceniza de leña 1 kg	Fibra de fruta 2 kg	Sulfato de zinc 200 g
		Cloruro de calcio 200 g
		Sulfato de magnesio 200 g
		Sulfato ferroso 300 gr
		Sulfato de cobre 300 gr

Una vez preparadas las mezclas se dejaron reposar en los botes plásticos (figura 1), bajo el sol durante 37 días, para permitir que las bacterias terminaran de degradar la materia orgánica y se digieran los compuestos pesados. Pasado este tiempo el biofertilizante paso a tener un color apagado y un olor más ligero, por lo que pudo ser extraído para su aplicación en las hortalizas.

Figura 1. Prototipo de fermentador



Para determinar las propiedades de cada concentrado se determinó el pH, la Conductividad Eléctrica (CE) y el pH con el Medidor de pH Hanna HI9125; el Nitrógeno total (N), el Fósforo total (P), y la cantidad de Potasio (K), se evaluaron con el Kit medición Nitrógeno, Fósforo Y Potasio en tierra de Hanna; la cantidad de hierro se evaluó con el Test kit de Hierro de Hanna. La alcalinidad, acidez y sólidos disueltos totales se midieron con el KIT HI3814 de Hanna. Para realizar las mediciones se adicionaron 250 ml de cada biofertilizante en sustratos de tierra convencionales para cultivo, posteriormente se realizaron 5 repeticiones por cada tipo de biofertilizante y un control (la tabla de resultados muestra solo los valores medios).

Para determinar que biofertilizante era más efectivo para el crecimiento de hortalizas se aplicaron 100 ml cada 15 días durante el crecimiento de 3 cultivos diferentes: cebolla, rábano y chile. Posteriormente se realizó una evaluación del tamaño de las raíces,

el tamaño de las plantas y el tiempo de germinación; se realizaron 5 repeticiones por cada tipo de planta en cada tratamiento (control, mineral, ceniza y fibra de fruta). Con los datos obtenidos para cada cultivo se tabularon solo los valores medios de crecimiento para cada tipo de planta en los diferentes tratamientos y el grupo control.

RESULTADOS

La elaboración del fermentador se realizó con una modificación en el diseño para daptar de mejor manera el niple enroscado, posteriormente se aseguró con silicón para evitar que los gases generados por la fermentación se filtren en los pequeños espacios donde se hizo el agujero, En todos los fermentadores se le realizo esta modificación. Al concluir la mezcla de ingredientes se selló cada contenedor, se etiqueto con los ingredientes y se instaló un sistema de filtración de gases (figura 2).

Figura 2. Inicio de fermentación del biofertilizante



Después de 37 días de fermentación se abrieron los contenedores, los que eran a base de ceniza y el mineral tenían un olor débil pero el de fibra de fruta tenía mayor olor a descomposición (por la cantidad de materia orgánica que contenía), además el de fibra de fruta era el que tenía mayor cantidad de sólidos y un color más claro (Figura 3).

Figura 3. Biofertilizantes después del proceso de fermentación. A) Biofertilizante sencillo B) Biofertilizante de fibra de fruta C) Biofertilizante concentrado.



Las pruebas de pH, oxígeno disuelto y CE fueron realizadas en los concentrados de biofertilizantes de manera directa. Los valores iniciales de pH muestran que son ligeramente ácidos (en especial el sencillo, el cual contiene la mayor cantidad de sólidos disueltos totales, la mayor conductividad eléctrica y el menor porcentaje de oxígeno disuelto). Por el contrario el biofertilizante con fibra de frutas tiene el pH menos ácido, la menor cantidad de sólidos disueltos totales y la menor conductividad eléctrica (además, el olor es más fuerte que con los otros dos), esto debe ser por la fibra de fruta molida que se le adiciono (tabla 2).

Tabla 2. Valores medios de los muestreos por biofertilizante.

Tipo de Biofertilizante	% de saturación de Oxígeno Disuelto	pH	CE μ S	SDT ppm
Sencillo	1.82 ppm 27% de saturación	4.1	17 2.8	45
Fibra de fruta	3.02 ppm 32% de saturación	5.3	161.6	36
Mineral	2.9 ppm 50% de saturación	4.7	170.3	40

Después de haber realizado las primeras pruebas del biofertilizante en estado puro, se llevaron a cabo segundas pruebas de pH, junto con otras pruebas de Nitrógeno, Fosforo, Potasio, dureza, CO₂, y pruebas de acidez al aplicar el biofertilizante en tierra. Por ello se tomaron cuatro muestras: a) el control que es tierra de cultivo convencional, b) tierra con el biofertilizante sencillo, c) tierra con el biofertilizante con fibra de frutas y d) tierra con el biofertilizante mineral. Al adicionarse cada tratamiento a los suelos no se hacen ácidos, pero presentan mayor cantidad de N, P, K y Fe en los tres tratamientos, con el mejor rendimiento en el biofertilizante de cenizas (ver tabla 3).

Tabla 3. Valores de medición de test kit HANNA

Parámetros	Control	Ceniza	Mineral	Frutal
pH	8.5	8.5	8	7
N	Bajo	Medio	Alto	Traza
P	Bajo	Bajo	Traza	Traza
K	Bajo	Medio	Bajo	Traza
Hierro	1 ml/l	2ml/l	2ml/l	2ml/l
Dureza	60 mg/l CaCO ₃	210 mg/l CaCO ₃	—	294 mg/l CaCO ₃
Acidez				
CO₂	28 mg/l CO ₂	85 mg/l CO ₂	97 mg/l CO ₂	55 mg/l CO ₂
Alcalinidad	75 mg/l CaCO ₃	—	240 ml/l CaCO ₃	270 mg/l CaCO ₃
Oxígeno disuelto	2.5 mg/l O ₂	0.7mg/l O ₂	0.3 mg/l O ₂	0.3 mg/l O ₂

El grupo control muestra como los biofertilizantes adicionan diferentes cantidades de macronutrientes al suelo, siendo de ceniza el de mayor concentración nutrientes, seguido del mineral y el de fibra de fruta. Esto puede deberse a que por sus componentes el proceso de descomposición permite mantener los nutrientes en el concentrado. Al aplicar los biofertilizantes en cada hortaliza para comparar el tiempo de germinación, el tamaño de las plantas y el tamaño de las raíces, los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Valores medios de crecimiento de las hortalizas bajo los diferentes tratamientos.

Parámetros	Control	Ceniza	Mineral	Frutal
Cebolla				
Tiempo de germinación	7	7	6	6
Tamaño de la planta en cm (30 días).	13	15	15.5	16.2
Tamaño de la raíz en cm (30 días).	5	6.2	6.4	6.1
Rábano				
Tiempo de germinación en días	9	9	9	9
Tamaño de la planta en cm (30 días).	16.3	17.2	18.0	17.5
Tamaño de la raíz en cm (30 días).	6.0	5.1	5.5	6.0
Chile				
Tiempo de germinación en días	17	16	15	16
Tamaño de la planta en cm (30 días).	18.3	20.2	20.5	20.2
Tamaño de la raíz en cm (30 días).	8.2	9.2	9.0	8.6

Las plantas bajo los tres tratamientos (ceniza, mineral y frutal), presentaron tiempos de germinación menores en las tres especies cultivadas, el tratamiento mineral y el frutal son los que presentaron el menor tiempo de germinación.

Con respecto al tamaño de las plántulas también hay una diferencia en el crecimiento entre la aplicación de los tres tratamientos y el control, en los suelos donde se aplicaron los biofertilizantes las plántulas alcanzaron un mayor crecimiento, por al menos 2 centímetros de diferencia. El tamaño de la raíz también fue mayor en los suelos que tenían los tratamientos, y los mayores tamaños se presentaron con el tratamiento del fertilizante mineral (ver figuras 4, 5 y 6).

Figura 4. Crecimiento de cebolla bajo los tres tratamientos de biofertilizantes y un grupo control.

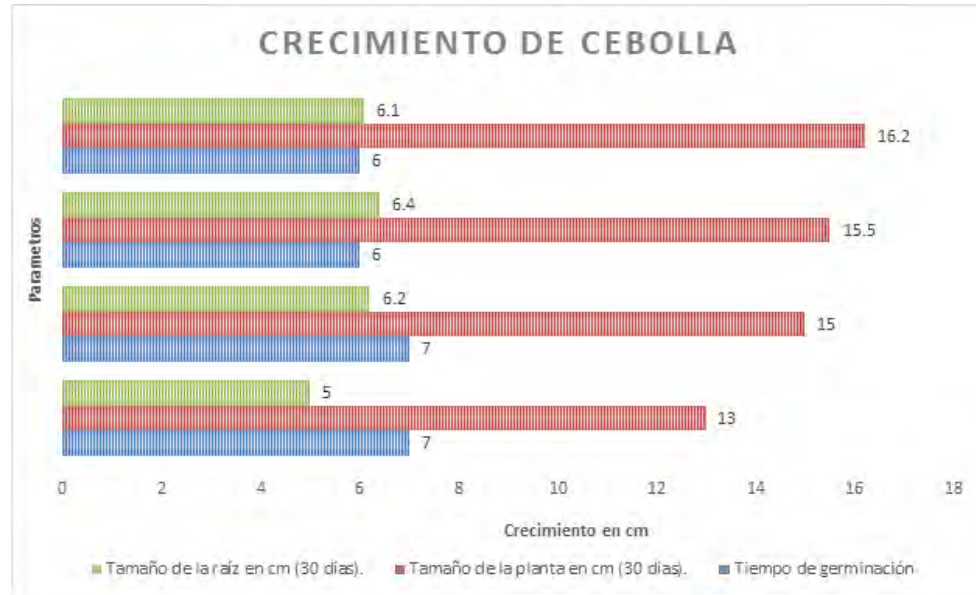


Figura 5. Crecimiento de rábano bajo los tres tratamientos de biofertilizantes y un grupo control.

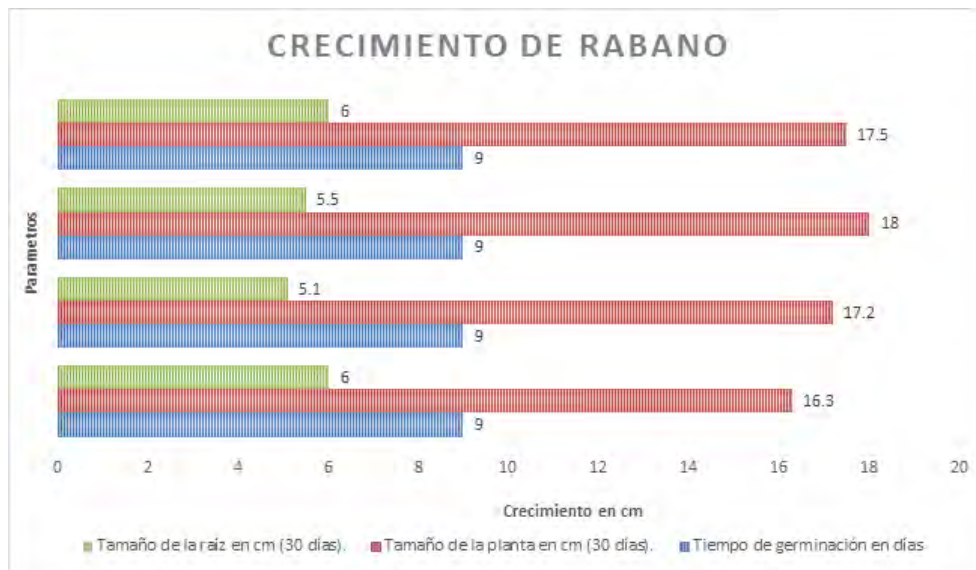
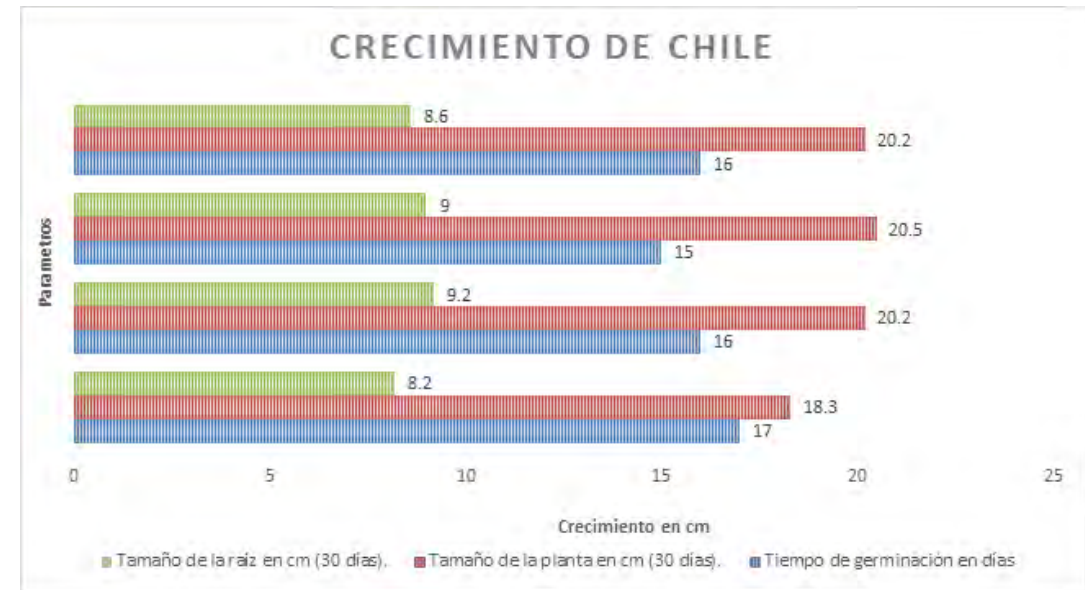


Figura 6. Crecimiento de chile bajo los tres tratamientos de biofertilizantes y un grupo control.



CONCLUSIONES

Los tres biofertilizantes (ceniza, mineral y frutal), mostraron un pH ligeramente ácido, en especial en el de fibra de fruta y sólidos disueltos, lo cual concuerda con los datos de la literatura. Al adicionarlos en tierra mostraron que cada biofertilizante adicionaba diferentes tipos de minerales al suelo, por lo que el biofertilizante de ceniza es el que tubo valores de macronutrientes más altos. Con respecto al crecimiento de las tres especies, el biofertilizante mineral presento menor tiempo de germinación y mayor tasa de crecimiento en la plántula y las raíces; seguido por el tratamiento de fibra de frutas y ceniza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcón, A. y Ferrara, R. (2000). Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. Agricultura Tecnológica de México, 26,191-203.

Armenta, B.A., García, G.C., Camacho, B. M., Gerardo, M.L. & Nava, P.E. (2010).

- Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6 (1), 51-56.
- Bashan, Y. (2008). El uso de inoculantes microbianos como una importante contribución al futuro de la agricultura mexicana. In: Díaz-Franco, A. y Meyer-Pérez, N. (Eds.). *La biofertilización como tecnología sostenible*. Plaza y Valdéz. México. 17-24.
- FAO. (2002). Informe sobre agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italia: FAO.
- Grageda, C.O., Díaz, F.A., Peña, C.J. y Vera, N.J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias agrícolas*, 3 (6), 1261-1274.
- Lucy, M., Reed, E., Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 86, 1-25.
- Malakouti, M., Navabzadeth, M. & Hashemi, S. (1999). The effect of different amounts of N-fertilizer on the nitrate accumulation in the edible parts of vegetables. London: Kluwer Academic Publisher.
- Méndez, M. & Viteri, S. (2007). Alternativas de biofertilización para la producción sostenible de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en Cucaita, Boyacá. *Agronomía colombiana*, 25 (1), 168-175.
- Pilido, L.E., Medina, N. & Cabrera, A. (2003). La biofertilización con rizobacterias y hongos micorrizicos arbusculares en la producción de posturas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y cebolla (*Allium cepa* L.). I crecimiento vegetativo. *Cultivos tropicales*, 24 (1), 15-24.
- Restrepo, R.J. (2007). Manual práctico ABC de la agricultura orgánica y panes de piedra. Colombia: Feriva.
- Santillana, V. N. (2006). Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* sp. *Ecología aplicada*, 5 (1,2), 85-91.
- Soria, F. M., Ferrera, C.R., Etchevers, B.J., Alcantar, G.G., Trinidad S.J. & Borges, G.L. (2002). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra*, 19 (4), 353-362.
- Tery, E., Terán, Z., Martínez, V. & Pino, D. (2002). Biofertilizantes, una alternativa promisoría para la producción hortícola en organopónicos. *Cultivos tropicales*, 23 (3), 43-46.
- Viteri R, S.E. (2002). Selección de cultivos de cobertura con potencial para el desarrollo agrícola sostenible en el municipio de Samacá, Boyacá. Tesis de Maestría. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia.

PRODUCCIÓN Y COSECHA DE LA GOMA DE HUIZACHE (*Acacia farnesiana*) EN EL EJIDO NAICA, SAUCILLO, CHIHUAHUA

José Eduardo Magaña Magaña¹, María Guadalupe Campos Franco²,
Christian Mauricio Kiessling Davison³, María de los Angeles Romero Lara⁴

¹ Profesor de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, responsable de la publicación emagana@uach.mx (639 472 27 26), ² guadalupecampos0509@gmail.com, ³ kkiesling@uach.mx, ⁴ angeles_romero@live.com.

RESUMEN

En el 2015 la mina de Naica cerro, la cual era la principal fuente de ingresos del ejido. El crecimiento natural de huizache se puede aprovechar para producir goma de huizache como sustituto de la goma arábiga y ser una fuente de ingresos, pero se carece de un estudio que permita conocer la producción de este árbol. Para desarrollar este estudio de caso, se localizaron individuos de huizache, seleccionando árboles de diferentes proporciones, para realizar el muestreo de cada área, se realizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres dosis y 6 repeticiones, se aplicó Etileno (Etephon). Las variables de estudio fueron: la cantidad de goma exudada o escurrida por árbol, con relación al porcentaje de tratamiento aplicado. Se envió una muestra a un laboratorio, para conocer sus propiedades y determinar la similitud con las demás gomas. El objetivo de este estudio fue identificar, replicar y proponer el proceso de producción y cosecha de goma de huizache en su hábitat natural. Los resultados arrojaron que los árboles a los que se les aplicó el tratamiento con mayor concentración son los que presentan mayor secreción y se observó que se debe tener un monitoreo para la recolección oportuna.

Palabras clave: Etileno, exudado, hormona vegetal, resina, análisis proximal de la goma.

ABSTRACT

In 2015 the Naica mine Hill, which was the main source of income of the ejido. The natural growth of huizache can be leveraged to produce rubber from huizache as substitute of gum Arabic and be a source of revenue, but lacks a study that allows to know the production of this tree. To develop this case study, individuals of huizache, selecting trees of different proportions, to perform sampling in each area were located, an experimental block design completely at random was designed with three doses and 6 repetitions, applied ethylene (Etephon). The study variables were: the amount of gum exuded or drained by tree, in relation to the percentage of applied treatment. A sample was sent to a lab, to learn its properties to determine the similarity with other rubbers. The objective of this study was to identify, replicate and propose the process of production and harvesting of rubber from huizache in their habitat natural. Results showed that the trees that treatment with higher concentration was applied to them are presenting greater secretion and noted that it should be a monitoring for timely collection.

Key words: Key words: ethylene, exudate, plant hormone, resin, proximate analysis of the gum.

INTRODUCCIÓN

Las gomas son secreciones resinosas que producen algunas especies vegetales, esto es un mecanismo de defensa natural, con el objetivo de proteger al árbol contra plagas y enfermedades. La goma aparece cuando las plantas son sometidas a estrés, sobre lesiones y grietas en la corteza de los árboles (Verbeken *et al.*, 2003). Esta resina conocida como goma es generalmente de color ámbar. *Acacia senegal* y *Acacia seyal* de origen africano son las principales especies productoras de goma de mayor uso y demanda en la industria (Cabañas, 2012). La goma arábiga es el ejemplo más claro de uso y aprovechamiento, la cual ha sido utilizada desde hace cientos de años en la industria alimenticia, en la farmacéutica, en vitivinícola, pinturas y recubrimientos además de la refresquera, papel y adhesivos, entre otros.

El mercado nacional e internacional de productos forestales crece continuamente, se requieren de estudios que permitan conocer costos de productos forestales incluso contemplando desde antes de hacer una plantación para conocer la factibilidad económica de este tipo de proyectos (Velázquez *et al.*, 2011).

En México existen diversas especies del género acacia que pueden ser sustitutos de esta goma, sin embargo, en zonas semidesérticas se encuentra de forma natural la

especia de *A. farnesiana* (huizache), la cual también produce secreciones semejantes a las de la goma arábiga.

Actualmente en el Ejido Naica del municipio de Saucillo perteneciente al estado de Chihuahua, cuenta con 1500 ha de tierras ejidales en las cuales se distribuye de forma natural la especie de *A. farnesiana* y que es objeto de estudio para calcular el potencial de producción de goma. En el municipio de Saucillo en el estado de Chihuahua, se localiza el ejido Naica, la principal fuente de ingresos de los habitantes de la comunidad fue la minería que, a su vez, los ejidatarios hacían uso del agua que la mina les proporcionaba para regar sus cultivos y hacer un aprovechamiento de las tierras. Posteriormente la compañía minera se vio en problemas al inundarse la mina y cerraron por lo que los habitantes de la comunidad se quedaron sin empleo y los ejidatarios sin agua para poder regar sus cultivos. Las tierras en la actualidad están sin aprovechar y como se encuentra en una zona desértica, estas están completamente secas. La única vegetación que sobrevive son las especies forestales como el mezquite, huizache y pasto como especie invasora.

En el 2015 la mina de Naica cerro, la cual era la principal fuente de ingresos del ejido, debido a su cierre los pobladores carecen de empleo, sin embargo, los recursos naturales, entre los cuales es el crecimiento natural de huizache, que poseen las tierras del ejido se pueden aprovechar de distintas maneras, una de ellas es la producción de goma de huizache como sustituto de la goma arábiga, pero se carece de un estudio que permita conocer la producción de este árbol. Debido a que se desconoce la producción de goma del huizache, se pretende que los ejidatarios implementen una nueva fuente de ingresos para mitigar el desempleo, mediante la producción de esta goma.

El objetivo general es: identificar, replicar y proponer el proceso de producción y cosecha de goma de huizache en su hábitat natural en el ejido Naica y como objetivos específicos: Proponer la técnica de producción y recolección de la goma de huizache en su hábitat natural y analizar las características físicas y químicas de la goma de huizache. Algunas especies de acacias tienen la capacidad de producir goma y en su composición química llevan los carbohidratos y las proteínas, dependiendo de la especie la proporción varía en estas (Verbeken *et al.*, 2003). El huizache es utilizado como fijador de metales pesados en algunas regiones del país, es uno de los usos que se le puede dar al huizache (Landeros *et al.*, 2011). Según Verbeken *et al.*, 2003, la composición y las características bioquímicas de las gomas depende de su edad vegetal, del sitio donde se presenta la secreción, de las características del suelo y las condiciones climáticas donde se encuentra la planta. Estos son factores importantes para la producción de goma.

Taxonomía

Reino: Mimosaeas

Phyllum: Plantae

Subphyllum: Spermatophyta

Clase: Magnoliophytina

Subclase: Magnoliopsida

Orden: Rosidas

Familia: Fabales

Subfamilia: Legumino

Género: Vachellia

Especie: Farnesiana

Cuadro 1. Principales fuentes de gomas de origen natural.

Origen	Fuente
Exudados vegetales	Goma arábiga (<i>Acacia spp.</i>)
	Goma tragacanto (<i>Astragalus spp.</i>)
	Goma de mezquite (<i>Prosopis spp.</i>)
	Goma karaya (<i>Sterculia spp.</i>)
Semillas	Goma gatti (<i>Anogeissus latifolia</i>)
	Goma basil (<i>Ocimum basilicum</i>)
	Goma locust (<i>Ceratonia siliqua</i>)
Algas	Agar, carragenina (Algas rojas)
	Alginato (Algas café)
Fuentes microbianas	Goma xantana (<i>Xanthomonas campestris</i>)
	Goma curdlana (<i>Alcaligenes fecalis</i>)

Fuente: Tomado de la tesis de Emmanuel Cabañas García (2012).

METODOLOGÍA

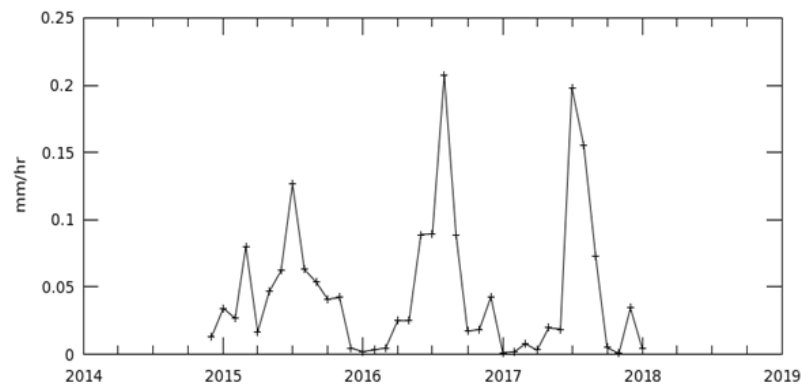
El área de trabajo está localizada en el ejido de Naica en el municipio de Saucillo, se localiza en las coordenadas extremas: oeste y sur en $-105^{\circ}29' 52.8''$ y $27^{\circ}51'41.4''$, mientras al este y norte $-105^{\circ} 29' 6''$ y $27 52' 33.6''$. Es una de las principales poblaciones núcleo dentro del municipio de Saucillo. Figura 1.

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio en el ejido Naica.



El clima es semiárido extremo, con una temperatura máxima de 41.7°C y una mínima de -14.1°C ; su temperatura media anual es de 18.3°C . Tiene una precipitación pluvial media anual de 363.9 milímetros, con un promedio de 61 días de lluvia y una humedad relativa del 48%; sus vientos dominantes son del sudoeste.

Figura 2. Serie de tiempo de la precipitación, estimada con la fusión del satélite Merged, recomendada para uso general. Con una resolución a 1° mm/hr de diciembre del 2014 a enero del 2018.



Sus principales Ecosistemas: Su flora consta de plantas xerófilas, herbáceas, arbustos de diferentes tamaños, entremezclados con algunas especies de agaves, yucas y cactáceas, leguminosas como el huisache, mezquite guamúchil, quiebre hacha, zacates, peyote, bonete y chaparral espinoso. La fauna está constituida por la paloma güilota y alas blancas, conejo, liebre, venado bura, puma, gato montés y coyote.

Recursos Naturales: la Minería era una de las principales actividades en el ejido, en Naica es localizada la cueva de los cristales, donde se encontraron los cristales más grandes descubiertos en el mundo. El uso predominante del suelo es ganadero. La tenencia de la tierra en su mayoría es privada con 168.126 hectáreas, equivalentes al 67,5%. El régimen ejidal comprende 34.473 hectáreas que representan el 13,8%.

Sus suelos dominantes son los yermosoles háplicos de textura media en pendientes de nivel o quebradas, con asociaciones de litosoles y/o regosoles eútricos, inclusiones de rendzinas y solonetz en fase lítica o salina. También se aprecian manchones de solonchaks órticos de textura media en pendientes fuertemente disectadas. El uso del suelo es fundamentalmente minero, agrícola y ganadero.

La investigación tiene un enfoque mixto, ya que para estimar la producción de goma se tienen las variables de diámetro, cantidad de concentración del tratamiento y peso del exudado, estas variables se consideran cuantitativas y las cualitativas es por la manera que se eligen a los árboles para tener mayor producción de goma. El tipo de investigación fue correlacional, ya que el experimento consta de conocer la producción de la goma con respecto al diámetro de los árboles. Las variables que se evaluaron fueron: la concentración de la hormona para determinar las 3 clases de tratamiento y el peso de la goma exudado por tratamiento. Se llevó a cabo de la siguiente manera:

- 1.- Se localizaron individuos de huizache, seleccionando individuos de diferentes proporciones para realizar el muestreo de cada área.
- 2.- Se aplicó Etileno (Etephon), regulador de crecimiento líquido con una fórmula, Acido 2, (cloroetil) fosfórico; no menos de 21.70 % en peso.
- 3.- Se realizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres dosis y 6 repeticiones.
- 4.- Las variables de estudio son: la cantidad de goma exudada o escurrida por árbol (de tronco principal, número de ramas secundarias) con relación al porcentaje de tratamiento aplicado.

- 5.- La incisión en el tronco para el exudado de goma, fue de una altura de pecho, con un ángulo de corte de 30 a 40 grados, la longitud del corte fue desde 2.5 a 5 cm con una profundidad de 0.5 cm. El producto se aplicó con una jeringa en el corte.
- 6.- Se usa un cincel para remover la goma de la planta.
- 7.- Posteriormente se pesó el exudado por árbol.
- 8.- Algunas de las muestras se mandaron a un laboratorio químico, para conocer sus propiedades y determinar la similitud con las demás gomas.
- 9.- El método que se utilizará será el aleatorio estratificado y se utilizarán los programas de Excel 2010 y R, para el análisis estadístico de las variables.

RESULTADOS

- 1.- Para cumplir con el primer objetivo, es hacer una selección de los árboles basándose principalmente en el aspecto de vigor y edad de la especie *Acasia farnesiana* para luego proceder a hacer tres incisiones en el fuste a la altura de pecho y en ramas en altura accesible para la recolección; con un ángulo de corte de entre 30° y 45°, **con una longitud de 2.5 a 5 centímetros** y 0.5 centímetros de profundidad, esto con la finalidad de obtener una mayor cantidad de goma. Posteriormente se aplicó con una jeringa Etileno (Etephon), en 3 concentraciones: 15%, 20% y 25%. El tiempo que tarda aproximadamente en producir goma son alrededor de 12 a 15 días para seguir con la recolección y pesaje por árbol. Se registran los pesos y se hace una comparación entre los diferentes tratamientos con la obtención de goma por árbol.
- 2.- A continuación, se presentan en el cuadro 2 y 3, correspondientes a los experimentos 1 con 9 árboles y 2 con 21 árboles respectivamente, donde se arrojan los primeros resultados:

Cuadro 2. Resultados de tres porcentajes diferentes de tratamientos en el primer experimento.

Número de árbol	Fecha de aplicación tratamiento	Porcentaje de tratamiento	Diámetro del fuste	Número de incisiones	Peso goma 1R 15-03-18	Peso goma 2R 12-04-18	Peso goma 3R 10-05-18	Peso total árbol
1	21/02/2018	20%	17	3	34.23	15.89	8.15	58.27
2	21/02/2018	25%	22.5	3	82.15	103.35	28.6	214.1
3	21/02/2018	15%	9	3	24.42	27.27	20.71	72.4
4	21/02/2018	15%	21.5	3	74	121.65	21.63	217.28
5	21/02/2018	25%	18.5	3	168.28	183.34	93.79	445.41
6	21/02/2018	20%	23.7	3	182.5	182.39	70.08	434.97
7	21/02/2018	S/T	20.6	3	0	0	0	0
8	21/02/2018	S/T	19.5	3	0	0	0	0
9	21/02/2018	S/T	18.2	3	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia con datos tomados en campo.

Figura 3. Porcentajes de peso de goma según la concentración del tratamiento en primer experimento.

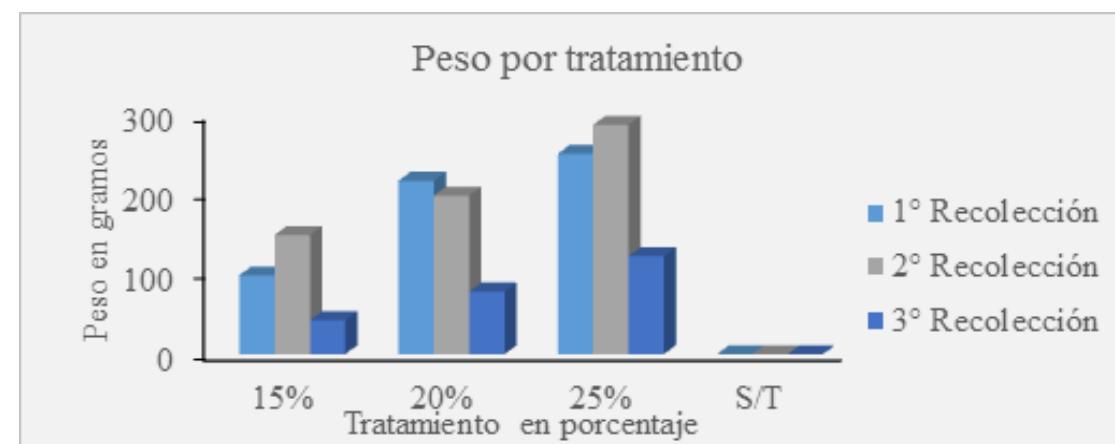
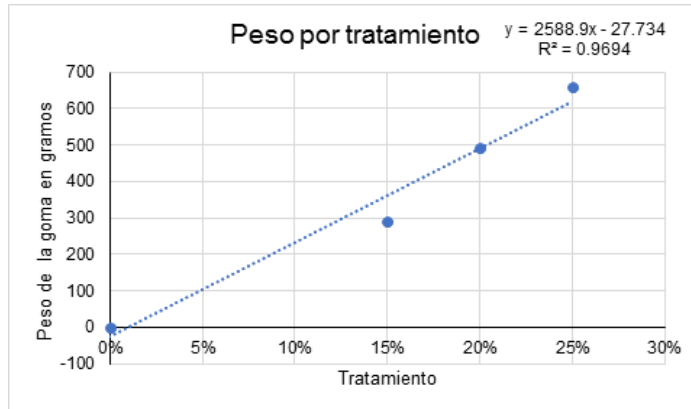


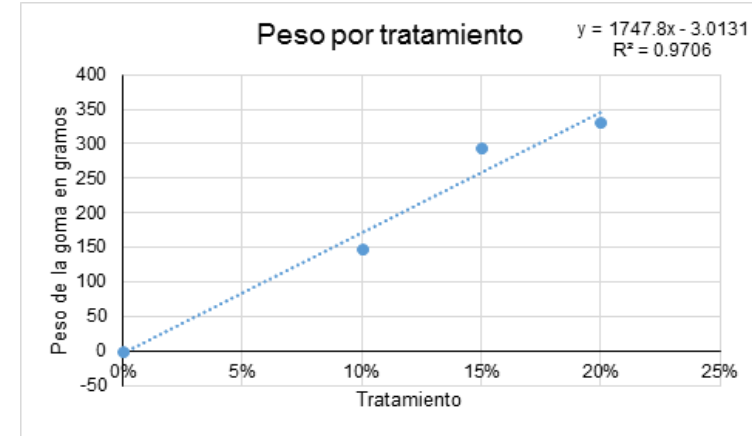
Figura 4. Regresión lineal entre el peso de la goma y el porcentaje de tratamiento en el primer experimento.



En el cuadro 2, se observan los pesos obtenidos según la cantidad de concentración del tratamiento, en tres fechas distintas de recolección y en la figura 2, se observa que el porcentaje con mayor concentración que es del 25% arroja la mayor cantidad de goma exudada, seguido del tratamiento del 20% y los 3 árboles que se asignaron como testigos, ninguno mostro alguna secreción.

En un tiempo de aproximadamente 4 meses se obtuvieron 1442gr de goma de huizache, en 6 árboles. En la figura 3 se observa la regresión lineal que existe entre el porcentaje de tratamiento y el peso de la goma por tratamiento, arrojando un coeficiente de determinación del 97% mostrando una relación buena.

Figura 6. Regresión lineal entre el peso de la goma y el porcentaje de tratamiento en el primer experimento.



En el cuadro 3, se muestran los primeros resultados del segundo experimento que se aplicaron a 18 árboles, de los cuales 6 fueron con un tratamiento del 10%, 6 con el 15% y 6 con el 20%, utilizando 3 árboles como testigos. Los primeros pesos de las gomas no muestran una diferencia significativa entre el tratamiento de 15% y 20%, sin embargo, aún faltan recolecciones para poder tener un resultado certero de los tratamientos. En la figura 4 se observan los pesos de la primera recolección y en la figura 5, la regresión muestra una aceptable relación entre ambas variables.

Cuadro 3. Resultados de tres porcentajes diferentes de tratamientos en el segundo experimento.

Número de árbol	Fecha de aplicación del tratamiento	Porcentaje del Tratamiento	Diámetro del fuste	Número de incisiones	Peso goma 1R 10-05-18 GRAMOS
1	28/04/2018	10%	14.50	3	37.34
2	28/04/2018	15%	19.00	3	125.37
3	28/04/2018	20%	17.00	3	65.51
4	28/04/2018	10%	15.10	3	42.33
5	28/04/2018	15%	20.35	3	32.18
6	28/04/2018	20%	18.13	3	57.6
7	28/04/2018	10%	17.10	3	26.65

Figura 5. Porcentajes de peso de goma según la concentración del tratamiento primera recolección.



8	28/04/2018	15%	15.10	3	22.86
9	28/04/2018	20%	20.05	3	128.09
10	28/04/2018	10%	12.50	3	31.55
11	28/04/2018	15%	16.37	3	52.2
12	28/04/2018	20%	22.00	3	75.01
13	28/04/2018	10%	19.15	3	0.57
14	28/04/2018	15%	17.80	3	2.03
15	28/04/2018	20%	17.00	3	3
16	28/04/2018	10%	22.50	3	9.68
17	28/04/2018	15%	16.53	3	59.76
18	28/04/2018	20%	19.60	3	2.73
19	28/04/2018	S/T	20.60	3	0
20	28/04/2018	S/T	19.50	3	0
21	28/04/2018	S/T	18.20	3	0

Fuente: Elaboración propia con datos tomados en campo.

Para el segundo objetivo, se mandaron las muestras de goma extraídas a un laboratorio químico, con el fin de obtener las propiedades de ésta y poder determinar si los componentes son similares a los de la goma arábica para poder utilizarla como sustituto de la misma. Los resultados aún están por llegar.

Discusión

Los resultados arrojaron que los árboles a los que se les aplicó el tratamiento con mayor concentración son los que presentan mayor secreción, los árboles que fueron utilizados como testigos se les hizo la misma cantidad de incisiones, pero no se les aplicó tratamiento, los cuales están en las mismas condiciones naturales y no mostraron secreción alguna. Por otro lado, basándose en los coeficientes de determinación del 97% de ambas regresiones, son un indicador que las variables utilizadas para la relación entre el peso y el tratamiento están bien aplicadas y se recomienda seguir con este modelo. Por último, se observó que se debe tener un monitoreo para la recolección oportuna y evitar que se cristalice la goma en el árbol, ya que es más difícil quitar la goma de la corteza cuando esta cristalizada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cabañas G., E. 2012. Caracterización Bioquímica y Propiedades Viscoelásticas de Gomas de *Acacia farnesiana* (L.) Willd. y *Acacia cochliacantha* Humb. & Bonpl. ex Willd. Tesis maestría. Maestro en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos, Morelos, México. 51p.

CONABIO http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/indice_especies.html

INEGI <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/censos/cepafop/default.asp?c=545>

SEMARNAT <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/sniarn.aspx>

Velázquez M., A., Aldrete, A., Gómez G., A. y Llaneral O., T. 2011. Evaluación de Costos de Extracción Y Abastecimiento de Productos de Plantaciones Forestales Comerciales. Trabajo desarrollado para Comisión Nacional Forestal. Colegio de Postgraduados. 108p.

Verbeken, D., Dierckx S. & Dewettinck K. 2003. Exudate gums: occurrence, production, and applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63: 10-21.

Fotos de trabajo de campo





Anexo 4. Fotografías tomadas en la aplicación y exudado de la goma a 15 días de la aplicación.



SUSTENTABILIDAD SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCION DE MAÍZ DE TIPO MONOCULTIVO

Francisco Torres Cruz¹; Rosa García Núñez²; Nidia Reséndiz Flores³

^{1,3} Tesista-Coautor. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Económico Administrativas. Edificio de Posgrado. Km 38.5. Carretera México-Texcoco. Chapingo. Estado de México. C.P. 56230. Tel 595 9521500. ftc_1330@yahoo.com.mx

² Director, Autor de correspondencia. Universidad Autónoma Chapingo. Preparatoria Agrícola. Edificio de Agronomía. Km 38.5. Carretera México-Texcoco. Chapingo. Estado de México. C.P. 56230. Tel 595 9521500. garcianu51@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de éste trabajo fue evaluar la sustentabilidad socioeconómica y ambiental del sistema de producción monocultivo maíz (SPMM) en la unidad de producción agrícola de Sacanco. La cuantificación de la sustentabilidad se utilizó con la metodología MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad). Se emplearon encuestas y entrevistas semiestructuradas, recorridos en campo y análisis de suelos; se identificaron fortalezas y debilidades del sistema y se generaron 14 indicadores. El SPMM presento 3.3 t ha⁻¹ y una relación B/C de 1.12, bajo contenido de MO. El 93% de productores realizan rotación de cultivo, utilizan semilla criolla, no presentan aridificación del suelo. El 77.7% aplican prácticas agrícolas ancestrales. La distribución de ingresos es de 0.15 de acuerdo al Índice de Gini. El atributo de autogestión presenta un nivel bajo. Éste sistema no es sustentable, solo cumple el 50% de indicadores evaluados.

Palabra clave: Sustentabilidad, monocultivo, maíz, económica, ambiental

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the socioeconomic and environmental sustainability of the corn monoculture production system (SPMM) in the agricultural production unit of Sacanco. The quantification of sustainability was used with the MESMIS methodology (Framework for the Evaluation of Natural Resources Management Systems incorporating Sustainability Indicators). Surveys and semi-structured interviews, field trips and soil analysis were used; Strengths and weaknesses of the system were identified and 14 indicators were generated. The SPMM presented 3.3 t ha⁻¹ and a B / C ratio of 1.12, low MO content. 93% of producers perform crop rotation, use Creole seed, do not present soil aridification. 77.7% apply ancestral agricultural practices. The distribution of income is 0.15 according to the Gini Index. The self-management attribute has a low level. This system is not sustainable, it only meets 50% of the indicators evaluated.

Keyword: Sustainability, monoculture, corn, economic, environmenta

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un creciente interés por la implementación, adopción y desarrollo de modelos de producción que incorporen el concepto de sustentabilidad, entendiendo a este último como la habilidad de un sistema a mantener la productividad, aun cuando sea sometido a perturbaciones (Conway, 1994). La producción de maíz, es uno de los cultivos con mayor producción a nivel mundial (Paliwal, 2001). En el caso de México, el maíz es de los cultivos más importantes. Saad (2004) señala que, la producción de maíz ocupa 62%. Se estima que da empleo aproximadamente a tres millones de agricultores y que entre 15 y 18 millones de personas dependen en el país de la producción de maíz, (Nadal, 2005). En el año 2008 - 2010, el consumo nacional aparente fue de 30.81 millones de ton, de las cuales 21.03 fueron de maíz blanco, 9.78 millones de ton de maíz amarillo (García y Ramírez, 2012). A pesar de que la producción ha aumentado en 50 % desde 1994, año de inicio del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), dicha producción promedió 22.7 millones de ton cada año en el período 2006-2010. La dependencia por importaciones se ubicó en 34% en 2006-2008 (Turrent *et al.*, 2012). En Puebla, en el año promedio 2008/2010 se consumieron 1.74 millones de ton de maíz; de estas, 1.24 millones fueron maíz blanco y 0.49 millones maíz amarillo (García y Ramírez, 2012). Puebla, aporta una oferta de 1.08 millones de ton, lo que representa 4.6% de la producción anual nacional (SIAP-SAGARPA, 2012). Datos del INEGI (2007) indican que en el estado, de un total de 994 mil ha dedicadas a la agricultura, 60.1% se siembran con maíz y 91.3% de

tal superficie se cultivó bajo condiciones de temporal. Sin embargo, existe un fuerte déficit del producto; en el año promedio 2008/2010 fue de 395 mil ton de maíz blanco y de 497 mil ton de maíz amarillo (García y Ramírez, 2012). Los productores de temporal de maíz operan al 57% de su potencial productivo, dejando un déficit de rendimiento de 43% (FAO, 2011 y 2012). Eliminar este déficit de rendimiento añadiría más de 9 millones de ton a la producción nacional (Turrent, 2009; Turrent *et al.*, 2012). Estimaciones indican que para el estado de Puebla se tiene un potencial de producción de maíz de 1.245 millones de ton, de las cuales 99% corresponde a maíz blanco (García y Ramírez, 2012). El suelo es uno de los recursos más importantes en la producción agrícola, su estado determina el tipo de actividades que se pueden realizar y los correctivos necesarios para alcanzar los niveles productivos deseados. Diversas propiedades físicas, químicas y biológicas, le confieren al suelo la calidad necesaria para albergar vida y mantener su capacidad productiva, funciones que se ven afectadas negativamente por fenómenos de degradación como la erosión y pérdida de componentes vitales como la fertilidad y la biodiversidad (UNCCD, 1996). Por lo que, la búsqueda de alternativas económicas, políticas, ambientales y tecnológicas que garanticen de manera sustentable el abasto de tales bienes es, uno de los mayores desafíos que enfrenta la ciencia y la sociedad actual. Expuesto lo anterior el presente artículo tuvo como objetivo de evaluar la Sustentabilidad económica, social y ambiental del sistema de producción de maíz de tipo monocultivo, aplicando la metodología *MESMIS*, con la finalidad de promover sistemas de producción agrícola sustentables. Y como hipótesis se planteó que el sistema de producción de maíz es sustentabilidad y permite mayor ingreso económico, así como beneficios sociales y ambientales, y satisface las necesidades alimenticias del productor.

METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en la unidad de producción agrícola de “Sacanco” perteneciente a poblado de San Simón Atzitzintla del municipio de San Salvador el Verde, Puebla. El poblado está a 2320 m de altitud y con una población de 3404 habitantes (INEGI, 2010); temperatura media anual entre 12°C y 18°C, se determinó el área de producción agrícola de Sacanco (Figura 1), tiene una superficie 100.5 ha del cual 105 parcelas son de tipo monocultivo, que son el objeto de estudio de este artículo.

Figura 1. Localización del área de estudio



Fuente:elaboración propia con Arcgis 2018.

Paso 1. Definición del objeto de evaluación. Para realizar la caracterización del sistema de producción se realizó una descripción detallada de: Los componentes físicos y bióticos, los insumos, prácticas de manejo y productos necesarios para sustentar a los sistemas productivos. Características socioeconómicas de los productores y las organizaciones a las cuales pertenecen. Se recurrió a: cuestionarios, entrevistas semiestructuradas, asistencia a asambleas ejidales para realizar entrevistas grupales, recorridos de campo y observación de participante.

Paso 2. Identificación de los puntos críticos del sistema

Se identificaron, aspectos que limitan o fortalecen la capacidad del sistema para sostenerse en el tiempo, y que por lo tanto pueden facilitar u obstaculizar los atributos de la sustentabilidad (Maser *et al.*, 2000). Los puntos críticos pueden corresponder directamente a un atributo o bien estar relacionados con varios de ellos.

Paso 3: selección de los criterios de diagnóstico e indicadores

Dada la interrelación entre aspectos ambientales y socioeconómicos de la agricultura sustentable, el conjunto de criterios de diagnóstico deben cubrir tres dimensiones o áreas de evaluación: social, económica; y ambiental. (Maser *et al.*, 2000). En la primera columna del Cuadro 1 se enlistan los 7 atributos que evalúa la sustentabilidad de acuerdo a la metodología MESMIS.

Cuadro 1. Atributos, puntos críticos e indicadores de los sistemas

atributo	punto crítico	criterio de diagnóstico	indicadores	forma de medición	dimensión
productividad	* Baja productividad	Eficiencia	1. Rendimiento del maíz	Rendimiento en kg/ha-1	E
	* Bajo valor agregado		2. Rendimiento de la pera	Cajas / árbol	E
	* bajo aseguramiento del autoconsumo		3. Relación B/C	BC (maíz + pera)	E
estabilidad, confiabilidad y resiliencia	* Monocultivo	Biodiversidad	4. Superficie requerida para cubrir la línea de bienestar familiar	por calculos	E
	* Degradación del suelo		5. Rotación de cultivo	por encuesta y cálculos	A
	* Eliminación de árboles y arbustos en las parcelas		6. Variedades de semilla	encuesta	A
	* Poco interés de la nueva generación		7. Porcentaje de materia orgánica	por análisis de suelo	A
	* Uso deficiente del recurso agua		8. Aridificación del suelo	por análisis de suelo	A
			9. Prácticas de conservación de recursos naturales	Conservación de suelos y agua	A
			10. Grado de satisfacción del sistema	por encuesta	A

adaptableidad	*Poco interés del productor a la asistencia técnica * Pérdida de usos y costumbres	Capacidad de adopción	11. Capacidad técnica e intercambio de experiencias 12. Uso y transmisión de prácticas agrícolas ancestrales	No. De eventos de capacitación Innovación y tecnología aprendida en capacitación	S S
equidad	* Baja productividad de granos y limitado abasto de granos * Acaparamiento de intermediarios * Inequidad en la distribución de recursos	Distribución de beneficios y recursos naturales	13. Distribución de ingresos en la producción	Índice de Gini	E
autogestión	* Dependencia de insumos externos	Entorno social y solución de sus requerimientos	14. Nivel de organización para la comercialización 15. Índice de dependencia de insumos externos (IDIE)	Encuesta y entrevista Encuestas y cálculos	S E

Paso 4. Medición y monitoreo de los indicadores

Atributo productividad

1. Rendimiento del maíz ($t\ ha^{-1}$). Se evaluó el grano cosechado de un ciclo (primavera-verano 2017). También se cuantifico el ingreso obtenido de la venta de pacas de zacate del maíz del ciclo. Y se clasifico a los productores por la variedad de maíz que siembran (criollo e híbrido).

2. Relación Beneficio Costo (B/C). Se obtuvo de multiplicar el rendimiento anual del maíz ($t\ ha^{-1}$) por el precio de venta en el mercado o ante el intermediario en caso de venderlo. También se sumó el ingreso obtenido por la venta de las pacas. Para los costos (C) de producción se estimó en base a la sumatoria de todos los insumos utilizados en el proceso de producción.

3. Superficie requerida para cubrir la línea de bienestar familiar. Para calcular este indicador se estimó previamente dos datos: 1) el Ingreso del Sistema Mensual (ISM) en 1 ha; y 2) el ingreso económico que una familia de 4 integrantes requiere para cubrir sus necesidades alimenticias y no alimenticias; conocida como línea de bienestar familiar (CONEVAL, 2018). El ingreso mínimo que una familia de 4 integrantes requiere, se definió según el CONEVAL (marzo 2018) en $\$1,928.67 \times 4 = \$7,714.68$; más un 10% que es el porcentaje óptimo que los especialistas en finanzas recomiendan para seguir invirtiendo y ser rentables. El valor resultante es de: $\$7,714.68 \times 1.10 = \$8,486.15$. Los datos obtenidos se sustituyen en la siguiente fórmula para obtener el dato de la superficie requerida para cubrir la línea de bienestar familiar:

$$= \frac{ISM\ ha^{-1}}{\text{Monto de Línea de Bienestar Familiar}} = \frac{ISM\ ha^{-1}}{8486.15}$$

Atributo estabilidad, confiabilidad y resiliencia

4. Rotación de cultivo (especies por sistema). En la entrevista con el productor se tomaron datos del número de cultivos que tuvo en su parcela durante año 2016 y 2017 y se obtuvieron valores promedios

5. Variedades de semilla. Se cuantificó el porcentaje de productores que siembran maíz criollo y híbrida en sus parcelas del cual se hizo un promedio y se graficaron. Esto es con la finalidad de saber si dependen de insumos externos para el sistema y del cual también nos indica si tienen o no seguridad alimentaria.

6. Porcentaje de materia orgánica. Se seleccionó una parcela representativa del sistema y se tomaron 10 muestras de suelos en puntos estratégicos de la parcela, a una profundidad de 0 a 30 cm de profundidad. Este indicador de fertilidad bajo los procedimientos de la NOM-021-RECNAT (2002).

7. Aridificación del suelo. Las propiedades que se evaluaron fueron Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) utilizando muestras compuestas obtenidas para la obtención de materia orgánica y siguiendo el método que establece la NOM-021-RECNAT (2002) para estas variables.

8. Prácticas de conservación de los recursos naturales. De acuerdo a Müller (1996) los recursos naturales que intervienen en la sustentabilidad de un agroecosistema, son entre otros elementos el agua, suelo, flora, fauna, y se deben distinguir de los componentes del manejo (insumos, energía, etc.), y de los productos (producción, residuos). Éste indicador se evaluó considerando el número de productores que realizan actividades de conservación, barrera fija, bordos, manejo integrado de plagas y captación de agua.

9. Grado de satisfacción con su sistema de producción. Se establecieron los siguientes criterios: 1) Nada satisfecho 2) Poco satisfecho 3) Satisfecho y 4) Muy satisfecho Esta información se obtuvo de la aplicación de encuestas

Atributo adaptabilidad

10. Capacitación técnica e intercambio de experiencias. Para calcular éste indicador se utilizó el método de Sánchez (2012), se le asignó un peso específico para asesoría e intercambios, 50% para cada uno. A los productores que tienen cuatro asesorías recibidas por mes se les asignó el valor de 50%; así se valoró de manera proporcional de acuerdo al número de asesorías recibidas, de manera que cada asesoría acumula un valor de 12.5%. En el caso de la asistencia a un intercambio de experiencias durante un año, se le dio un valor de 50%, lo cual se suma a los datos anteriores, de tal forma que el total se dividió entre el tamaño de muestra. Lo expresado anteriormente respecto a la forma de evaluación del indicador se resume en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de adopción} = \left[\frac{\sum_{n=1}^n va + vi}{n} \right]$$

Dónde: \sum = Sumatoria desde 1...n, Va = Valores por asesoría; Vi = Valores por intercambio; n = tamaño de muestra (de acuerdo al sistema de producción).

11. Uso y transmisión de prácticas agrícolas ancestrales. Se identificaron los usos y transmisiones de conocimientos a las nuevas generaciones, relacionadas a actividades de campo: 1. Usan yunta 2. Productores que enseñaron a sus hijos a usar yunta 3. Productores que enseñaron a sus hijos a seleccionar semilla de maíz 4. Productores que enseñaron a sus hijos seleccionar la mejor fecha de siembra 5. Productores que enseñaron a sus hijos a considerar los efectos de la luna en el cultivo de maíz.

Atributo equidad

12. Distribución de ingresos en la producción. Para éste indicador se realizaron cálculos del sistema de producción, considerando los ingresos por productor. Y para estimar la distribución del ingreso se utilizó el índice de Gini (IG), mediante la siguiente fórmula:

$$IG = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Fi - Yi)}{\sum fi}$$

Dónde: F_i = frecuencias relativas acumuladas de la población, Y_i = ingreso relativo acumulado de las muestras en el sistema; f_i = frecuencias relativas de la muestra

Cuando el valor del IG se aproxima a cero indica la existencia de una distribución más equitativa. Por el contrario, cuando el valor se aproxima a uno, indica una distribución concentrada en pocos individuos. (González, 2009).

Atributo autogestión

13. Nivel de organización para la comercialización. Se establecieron tres niveles de organización y en entrevista grupal con productores se validaron los niveles: Nivel 1: no existe ningún tipo de organización, Nivel 2: están en proceso de organización, Nivel 3: si existe una organización operante

14. Índice de dependencia de insumos externos (IDIE). En entrevista con los productores se identificó y se calculó los costos destinados a la adquisición de insumos provenientes del exterior (semillas, fertilizantes, manejo de plagas y enfermedades, herbicidas). La cantidad resultante se dividió entre la suma del monto de insumos externos e internos sin considerar herramientas y equipo.

$$IDIE = \frac{\text{Monto de insumos externos}}{\text{monto de insumos externos} + \text{monto de insumos internos}} \times 100$$

La escala de este indicador va desde 0% en el escenario de una total independencia de estos insumos hasta 100%, situación en la que el productor es totalmente dependiente de la compra de insumos del exterior.

Paso 5. Presentación e integración de resultados

Con los datos obtenidos de la medición de cada indicador se procedió a conjuntar los resultados en una sola tabla o matriz, utilizando las unidades originales. Determinar óptimos para cada indicador., estandarizar porcentualmente cada indicador a partir de los valores **óptimos** utilizando la siguiente fórmula (GIRA, 2008):

$$\frac{\text{Valor obtenido} - \text{Valor mínimo}}{\text{Valor óptimo} - \text{Valor mínimo}} \times 100$$

Paso 6. Conclusiones y recomendaciones. Se recapitularon los resultados del análisis de los indicadores para emitir un juicio de valor. Así mismo se plantean estrategias y recomendaciones.

RESULTADOS

A continuación se mencionan los resultados obtenidos de los indicadores de cada atributo. Para **Atributo de Productividad**, se plantearon indicadores los cuales son de dimensión económica:

1.- Rendimiento del maíz (t ha⁻¹). El SPMm se obtuvo información directamente de cada uno de los 96 productores que siembran *maíz criollo* con un rendimiento promedio de 3.3 t ha⁻¹, y 200 pacas de zacate en promedio respectivamente, correspondiente al ciclo primavera – verano 2017. Los productores que siembran maíz híbrido son 9 con un rendimiento promedio de 4.7 t ha⁻¹ y 260 pacas de zacate. De acuerdo con datos que presenta el SIAP 2017, el rendimiento promedio de producción de maíz criollo en la región de estudio es de 4.5 t/ha⁻¹, por lo tanto existe una diferencia de 1.2 t ha⁻¹ respecto a lo obtenido en este estudio. De lo anterior se puede inferir que existen malas prácticas agrícolas y no hay fertilización adecuada en las etapas fenológicas del maíz. El maíz híbrido que siembran en la región es palloner y el rendimiento de este maíz es de 7 t ha⁻¹ (Reyes, 2018), en este caso existe una diferencia de 2.3 t ha⁻¹, información de los productores mencionaron que no alcanzan éste rendimiento por que no cuentan con un paquete tecnológico adecuado para el manejo de la semilla (Productores, 2018). Los rendimiento de maíz obtenido en esta investigación es superior al rendimiento medio

de maíz en el estado de Tlaxcala para los ciclos 2009 y 2010 fue de 2,369 Kg ha⁻¹ y de 2,553 Kg ha⁻¹ respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2012).

2.- Relación B/C. En el Cuadro 2 se muestran los beneficios promedio obtenidos de acuerdo con la información proporcionadas por los productores de la zona de estudio.

Cuadro 2. Relación B/C por ha de la producción de maíz y variedad de semilla.

	Ingresos	Costos	Relación B/C
SPMM criollo	\$27,178	\$24,370	1.12
SPMM híbrido	\$32,394	\$27,520	1.18

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia de ganancia en es de 0.06, no existe una diferencia significativo en el uso de semilla hibrida. Estudios realizado por Ávila et al., (2014), sobre los beneficios y costos de producción de maíz reportan un B/C de 1.83. . Por otro lado Priscila (2014) evaluó limón intercalado con maíz, reporto un B/C de 1.75. Ambos estudios la relación B/C son superiores al sistema evaluado en éste artículo.

3.- Superficie requerida para cubrir la línea de bienestar familiar. Recordar que la línea de bienestar familiar se estimó en \$8, 486. Bajo estas condiciones y en el supuesto que el productor tan sólo contará con el ingreso de la producción de maíz, En el Cuadro 4 se observa que los productores del SPMm requerirían alrededor de 2.42 ha; supera el promedio de extensión de un productor en la unidad de producción.

Cuadro 3. Superficie para cubrir la línea de bienestar familiar para cada sistema de producción.

Sistema de producción	Producción parcela	costos	autoempleo	ingreso anual neto	ingreso mensual	Superficie línea de bienestar familiar
	(m.n)					(ha)
SARmm	\$60,888	\$27,970	\$9,150	\$42,068	\$3,506	2.42

Fuente: elaboración propia

Atributos de Adaptabilidad, confiabilidad y resiliencia. Para cubrir estos atributos se plantaron, los cuales pertenecen a la dimensión Ambiental:

4.- Rotación de Cultivo. En la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos de este indicador. El 93% hacen rotación de cultivo en sus parcelas y el 7% de los productores no realizan rotación.

Figura 2. Porcentaje de productores y número de cultivos en el sistema

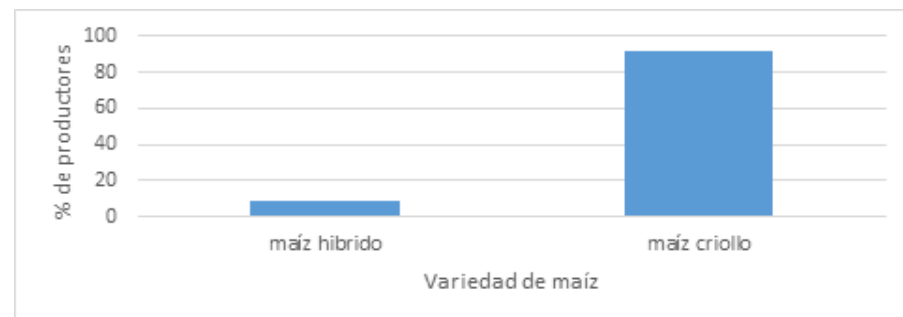


Fuente: Elaboración propia con datos de campo 2016 y 2017.

SARmm (n=109) SAA pm (n=26)

5.- Variedades de semillas. En la Figura 3 se muestra el porcentaje de productores con las diferentes variedades de maíz.

Figura 3. Porcentaje de productores y variedades de semilla de maíz de cada sistema de producción



Fuente: Elaboración propia.

El 91% de los productores siembran maíz. Disponer de variedades de semillas propias es un factor importante para no depender de empresas productoras de materiales híbridos. Sánchez (2014), evaluó el agroecosistema maíz de la región de Huamantla Tlaxcala, encontró que el 100% utilizan maíz criollo.

6.- Porcentaje de materia orgánica. Los resultados se presentan en el Cuadro 4 La materia orgánica por su principal característica de fertilidad es que influye favorablemente sobre las propiedades y características fisicoquímicas del suelo. De igual forma, se considera la sustentabilidad de los agrosistemas (Swift y Woome, 1991).

Cuadro 4. Porcentaje de materia orgánica de cada sistema de producción según zonas.

Sistema	Zona de la parcela	M. O (%)	Clasificación ²
SPMM	Zig zag	1.67	Muy baja

Fuente: Elaboración propia.

El SPMM obtuvo menor contenido de materia orgánica, se debe a que el sistema de riego que utilizan, es el riego rodado con la desventaja que deslava gran cantidad de materia orgánica influyendo con un efecto negativo en este indicador. Bugarín *et al.* (2010) considera que un sistema agroproductivo con concentraciones de materia orgánica por debajo o cercanas al 1.68%, evidencia el uso intenso al que el suelo ha estado sometido.

7.- Aridificación del Suelo. En el Cuadro 5 se puede apreciar, las variantes PMP y CC están dentro de los parámetros que ha establecido Israelsen y Hansen (1979). Se clasificaron como suelos arcillosos limosos.

Cuadro 5. Resultados de Punto de Marchitez Permanente y Capacidad de Campo para el SPMM.

Sistema	Dap ²	PMP (%)	CC (%)
SPMM	1.23	17.56	35.84

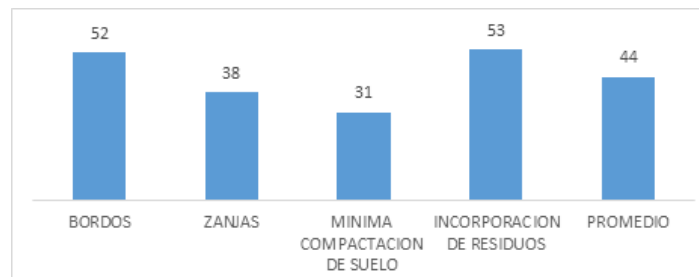
Z Densidad aparente. Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los suelos bajo estudio tienen mayor capacidad de retener agua en comparación de suelos francos que presentan entre 18 y 26 % de CC. Los suelos evaluados ceden agua con mayor facilidad en caso de estrés hídrico en comparación a los suelos arenosos, que aunque tienen menor capacidad de retener agua (entre 6 y 12% de CC), tienen la

particularidad de presentar mayores porcentajes de PMP, casi el triple (2%). De lo anterior se deduce que los suelos bajo estudio tienen baja probabilidad de presentar condiciones para la aridificación.

8.- Prácticas de Conservación de Recursos Naturales. Para la evaluación de este indicador, se consideraron zanjas para captación de agua, mínima compactación de suelo, incorporación de residuos orgánicos, así como los bordos de los terrenos de cultivo. Los resultados se presentan en la Figura 4. Los recursos naturales que intervienen en la sustentabilidad de un agroecosistema, son entre otros elementos el agua, suelo, flora, fauna, y se deben distinguir de los componentes del manejo (insumos, energía, etc.), y de los productos (producción, residuos). (Müller, 1996).

Figuras 4. Prácticas de conservación en ambos sistemas de producción

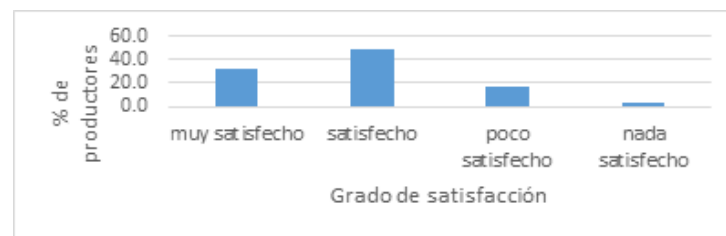


Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, el SPMM muestran una tendencia creciente al cuidado y conservación de los recursos naturales como son: suelo y agua.

9.- Grado de satisfacción del sistema. Con este indicador se hace referencia, a que el sistema tenga la posibilidad de seguir en el tiempo y de ser replicado (Ver Figura 5).

Figura 5. Grado de satisfacción de los productores de SPMM



Fuente elaboración propia con datos de productores, 2017.

En general, los productores están satisfechos con su forma de trabajar sus parcelas, solo el 3% no está satisfecho.

Para medir el atributo de **Adaptabilidad** del SPMM se generaron dos indicadores:

10.- Capacidad técnica e intercambio de experiencias. Datos recabados en la encuesta se obtuvo que el SPMM, recibieron asesoría seis productores (tres fueron asesorados en promedio tres veces por mes y tres de ellos cuatro veces al mes), aunado a tres agricultores que asistieron a intercambios de experiencias, aplicando la siguiente fórmula se obtuvieron los siguientes valores:

$$\% \text{ de capacitacion} = \left[\frac{112.5 + 150}{105} \right] = \frac{262.5}{105} = 2.5\%$$

Para la *capacitación técnica e intercambios* los valores son bajos. Esto se debe principalmente a la ausencia de programas de asesoría técnica. Debido a la baja disponibilidad de recursos económicos, los productores difícilmente pagarían asesoría técnica privada (Aguilar *et al.*, 2010).

11.- Uso y transmisión de prácticas agrícolas ancestrales. Los productores han realizado sus actividades agrícolas a través de los usos y costumbres de sus antecesores, como: el uso de yunta, selección de fecha de siembra, selección de semilla de maíz, efectos de la luna. Ver Cuadro 6. Para expresar en porcentaje los datos descritos con anterioridad, se realizó la división y el resultado se multiplico por 100, de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$\text{Actividad a evaluar en \%} = \frac{\text{productores que la realizan}}{n} \times 100$$

Donde n depende del sistema de producción (SPMM=105).

Cuadro 6. Valoración de actividades en porcentaje sobre algunas prácticas ancestrales en el SPMM.

Sistema Productivo	Usan yunta	Productores que enseñaron a sus hijos a:				Promedio
		usar la yunta	seleccionar semillas	seleccionar mejor fecha de siembra	considerar los efectos de la luna	
SARMM	63.8	77.1	85.7	87.6	74.3	77.7

Fuente: Elaboración propia.

Se puede inferir que el 22% de productores de ésta unidad de producción agrícola han dejado de prácticas las cinco actividades evaluados. Sánchez (2012) evaluó 6 actividades ancestrales en la producción de maíz en la región de Huamantla y presento el 68.4% de productores que siguen practicando conocimientos heredados.

Para medir el atributo **equidad** se generó el indicador de distribución de ingresos

12.- Distribución de ingresos en la producción. Considerado los ingresos por productor y por hectárea se obtuvieron los siguientes resultados (Ver Cuadro 7):

Cuadro 7. Distribución de ingresos en la producción de maíz mediante el Índice de Gini

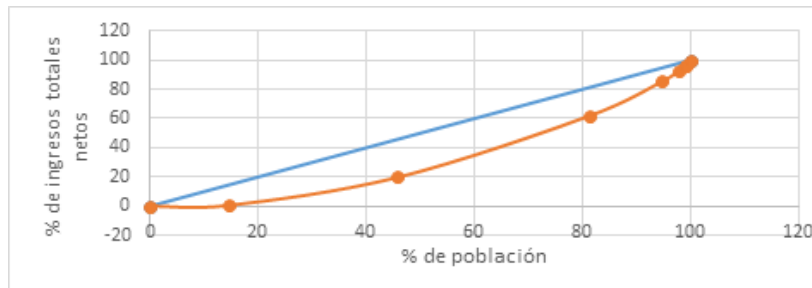
Sistema de Producción	Coficiente de Gini con ingreso brutos	Coficiente de Gini con ingresos netos
SPMM criollo	0.01	0.15
SPMM híbrido	0.02	0.12

SPMMc= Sistema Producción monocultivo maíz criollo Fuente: elaboración propia con datos de productores 2017

Los resultados mostraron mayor inequidad en la distribución de ingresos con los ingresos netos como se aprecia en el cuadro anterior. Sin embargo, se puede inferir que no existe una diferencia significativa con los productores que siembran maíz híbrido.

A continuación se presenta en la Curva de Lorenz y el Índice de Gini (Figura 6) para el SPMM criollo en el que puede observarse la desigualdad en el ingreso.

Figura 6. Curva de Lorenz para la distribución del ingreso neto en el SPMM criollo.



Fuente: Elaboración propia con datos de los productores 2017. (n= 96)

De acuerdo con el índice de Gini obtenido para este conjunto de productores con el SPMM la desigualdad es de 0.15.

Figura 7. Curva de Lorenz para la distribución del ingreso neto en el SPMM híbrido.



Fuente: Elaboración propia con datos

La desigualdad de ingresos representada en la figura anterior es de 0.12, según el índice de Gini. Sánchez (2012) evaluó la distribución de ingresos de dos tipos de productores: tradicionales y tendientes a agroindustrial presento una distribución de ingresos de 0.3340 y 0.2862 respectivamente, el cual representa el doble de desigualdad de ingreso comparado con éste estudio.

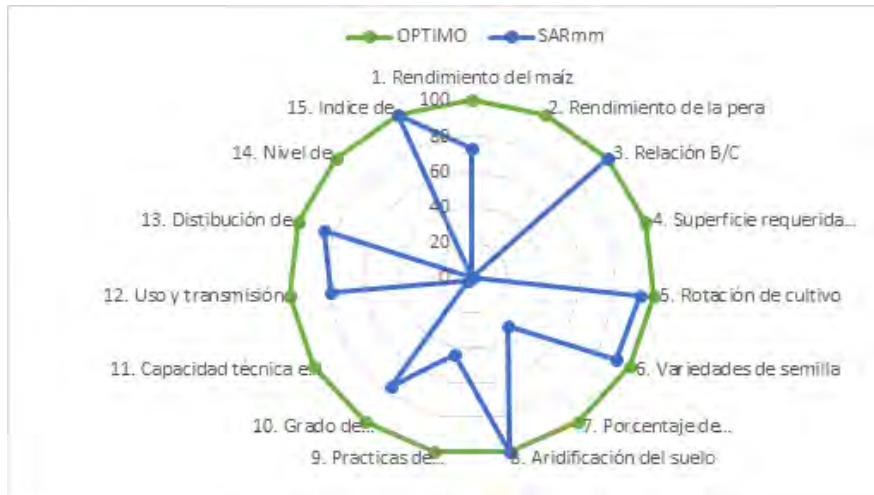
Para el atributo **Autogestión** se plantearon dos indicadores:

13.- Nivel de organización para la comercialización. Como resultado se tiene que no existe ningún tipo de organización, ni en proceso para comercializar sus productos.

14.- Índice de dependencia de insumos externos (IDIE). El sistema es 100%; son altamente dependientes al uso de insumos externos.

En la Figura 8, se concentra los valores porcentuales de cada indicador

Figura 8. Gráfica de indicadores del Sistema monocultivo maíz (SPMM)



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Las prácticas agrícolas que se realizan en el SPMM no es sustentable, ya que los indicadores del atributo autogestión no fueron positivos. La relación B/C es muy baja por lo tanto tampoco se considera un sistema rentable. Si bien es cierto que el maíz es un cultivo tradicional para los pequeños productores del medio rural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A. J., Altamirano J. R., C. y Rendón R. M. (2010). *Del extensionismo agrícola a las redes de innovación rural*. 1ª Edición, FAO, CIESTAAM-UACH, CYTED. México. 281 pp.
- Ávila, F. Catañeda, Y. Masseur, y Noriero, L. y Gonzales, A. (2014). Los productores de maíz en Puebla ante la liberación de maíz genéticamente modificado. Universidad Autónoma Metropolitana Distrito Federal, México. Sociológica, vol. 29, núm. 82, mayo-agosto, 2014, pp. 45-81.

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2015). Valor de la canasta alimentaria y no alimentaria. Disponible en: <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/MP/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx>. Fecha de consulta: 03/10/2018.

Conway, G. R. (1994). Sustainability in agricultural development: Trade-offs between productivity, stability and equitability. *Journal for Farming Systems and Research-Extension*.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2011 y 2012). The state of the world's land and water resources for food and agricultura (SOLAW)- Managing systems at risk. Rome, Italy.

García Salazar, José Alberto, y Rocío Ramírez Jaspeado. (2012). Demanda de Semilla Mejorada de Maíz en México: Identificación de Usos y Zonas de Producción con Mayor Potencial de Crecimiento. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Texcoco, Estado de México. 156

García Salazar, José Alberto, y Rocío Ramírez Jaspeado. (2012). Demanda de Semilla Mejorada de Maíz en México: Identificación de Usos y Zonas de Producción con Mayor Potencial de Crecimiento. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Texcoco, Estado de México. 156 p.

González, B. (2009). Cálculo del índice de Gini. En: http://issuu.com/byrong/docs/c_lculo_del_indice_de_gini#print Consultado el 6 de abril de 2018.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2010). Censo Nacional de Población. INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2007. Censo agrícola, ganadero y forestal 2007. Disponible en <http://www.inegi.gob.mx> (fecha de consulta. 25 de mayo, 2018).

Israelsen, O. y Hansen V. (1979). Principios y aplicaciones del riego. Ed. Reverté. Barcelona.

Masera, O. y S. López –Ridaura. (2000). Sustentabilidad y sistemas campesinos: Cinco experiencias de evaluación en el México Rural. PUMA. Mundiprensa, Instituto de Ecología. UNAM. GIRA A. C. México.

Müller, S. (1996), ¿Cómo medir la sostenibilidad? Una propuesta para el área de la agricultura y de los recursos naturales., IICA, GTZ, Costa Rica. 55 pp.

Nadal, Alejandro y Wise, Timothy, (2005). “Los costos ambientales de la liberalización agrícola: El comercio de maíz entre México y EE.UU. en el marco del NAFTA”, edits., *Globalización y medio ambiente: Lecciones desde las Américas*, Santiago, RIDES – GDAE, pp. 49- 92.

Paliwal, Raipusudan, Granados, Gonzalo, Lafitte, Honor Renée, Violic, Alejandro (2001). El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción, Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Saad, Isabel, (2004). “Maíz y libre comercio en México”: *Claridades Agropecuarias*, núm. 127, pp. 44 – 48.

Sanchez, M.P. (2012). Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región de Huamantla, Tlaxcala. Tesis Doctoral. Programa en Estrategias para El Desarrollo Agrícola Regional. Colegio de Postgraduados Campus Puebla

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) SAGARPA. (2012). *Rendimientos de granos por Estados y años*. En: <http://siap.gob.mx/>. Consultado el 18 de agosto de 2018.

SIAP–SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera– Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2012). Información básica, agricultura, producción anual. Disponible en www.siap.sagarpa.gob.mx (consultado: 2 de marzo de 2017).

Swift, M.J; B. T Kang, K. Mulongoy, P. W. Woomeer. (1991). Organic matter management for sustainable soil fertility in tropical cropping systems. In *Evaluation for sustainable land management in the developing World*, J. Dumanski, E. Pushparajah, M. Lathanm, R. Myers (eds), 307-326 IBSRAMProceedings 12 (vol. 21), Bangkok Thailand.

Turrent Fernández, Antonio, Timothy A. Wise and Elise Garvey. (2012). Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. Woodrow Wilson International Center for Scholars, GDAE Working Paper No. 12-03.

UNCCD. 1996. Desertification, particularly in Africa (consultado enero, 2018). www.unccd.int/convention/text/convention.php.

Uribe, M. (2012). La Agroforestería como factor de Desarrollo Rural para comunidades campesina de la Sierra de Huautla, Morelos. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Chapingo. México. 222 p.

Consejo Arbitral	
Dr. En C. Ernesto Bravo Benitez Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM	Dr. Roberto Arpi Mayta Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú
Dra. Martha Marivel Mendoza Ontiveros Universidad Autónoma del Estado de México	Dr. Edmar Salinas Callejas UAM-Azcapotzalco
Dra. Martha Jiménez García Instituto Politécnico Nacional	Dr. Samuel Rebollar Rebollar Universidad Autónoma del Estado de México
PhD Miguel Ángel Martínez Damián Colegio de Postgraduados	PhD Lorenzo Irineo López Cruz Universidad Autónoma Chapingo
Dr. Daniel Sepúlveda Jiménez Universidad Autónoma Chapingo	Dra. Laura Elena Garza Bueno Colegio de Postgraduados
Dra. Ma. Teresa Pérez Soto Universidad Autónoma de Morelos	Dr. J. Martín González Elías Universidad Autónoma de Guanajuat
Dr. Jorge Cortés Carreño Universidad Autónoma Chapingo	PhD Pablo Emilio Escamilla García Instituto Politécnico Nacional

Sustentabilidad Socioeconómica y Ambiental en México
se publicó en diciembre de 2019.
Para su composición se emplearon las fuentes
Times New Roman de 9 y 12 pts y
Soberana Sans Condensada 12 y 18 pts.
Diseño editorial: linkverde2004@yahoo.com.mx
El cuidado de la edición estuvo a cargo
de Francisco Pérez Soto