



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



“La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”

**CULTIVO ASOCIADO DE GUAJE ROJO, PITAYA Y PITAHAYA,
UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE
PARA LAS ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DEL SUR DEL
ESTADO DE PUEBLA”**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

ISAÍAS DOMÍNGUEZ HERNÁNDEZ

Asesor de tesis:

Dr. Jesús Armando Ruiz Careaga

Octubre 2015



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

“La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”



**CULTIVO ASOCIADO DE GUAJE ROJO, PITAYA Y PITAHAYA,
UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE
PARA LAS ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DEL SUR DEL
ESTADO DE PUEBLA”**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

ISAÍAS DOMÍNGUEZ HERNÁNDEZ

Comité Tutorial

| | |
|----------------------------|--------------------------------|
| Asesor y Tutor | Dr. Jesús Armando Ruiz Careaga |
| Integrante Comité Tutorial | Dra. Lucía López Reyes |
| Integrante Comité Tutorial | Dr. J Santos Hernández Zepeda |
| Integrante Comité Tutorial | Dr. Ernesto Mangas Ramírez |

Octubre 2015



BUAP

ING. ISAÍAS DOMÍNGUEZ HERNÁNDEZ

Por este conducto me permito comunicarle que los miembros del jurado integrado por:

Dr. J. Arahon Hernández Guzmán

Dra. Gladys Linares Fleites

Dr. Ricardo Pérez Avilés

Dra. Lucía López Reyes

Dr. Ricardo Darío Peña Moreno

Presidente

Secretario

1er. Vocal

2do. Vocal

Suplente

designado para la defensa de su tesis “*Cultivo asociado de Guaje Rojo, Pitaya y Pitahaya, un sistema de producción agrícola sustentable para las zonas áridas y semiáridas del Sur del Estado de Puebla*” han manifestado mediante su voto que ésta cumple con los méritos suficientes para ser defendida como tesis de grado de Maestría en Ciencias Ambientales, por lo que este Posgrado le autoriza la impresión de la misma.

Sin otro asunto en lo particular, quedo de usted.

ATENTAMENTE

“PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR”

H. PUEBLA DE Z., OCTUBRE 29 DE 2015

DR. J SANTOS HERNÁNDEZ ZEPEDA
COORDINADOR



JSHZ/anma
c.c.p. Archivo
c.c.p. Minutario

AGRADECIMIENTOS

A mi país, que me dio la oportunidad de prepararme profesionalmente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo de una beca sin la cual mi maestría no sería posible.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Posgrado en Ciencias Ambientales por abrirme a nuevas perspectivas del conocimiento.

A mi asesor y a los integrantes del Comité tutorial que con paciencia, esmero y atinadas aportaciones, hicieron posible la culminación de este trabajo de investigación.

A todos mis maestros gracias, me llevo sus enseñanzas, sus inquietudes, sus esperanzas; sus convicciones serán semillas que reverdecerán en los páramos de la Mixteca.

A todos los campesinos y a los pueblos indígenas Mixtecos, Popolocas y otros naturales que por desconocimiento en esta ocasión omito, que con su arraigo a la tierra han conservado por milenios la biodiversidad y del que tres de sus especies, hoy son los protagonistas de esta investigación.

Gracias a los jornaleros agrícolas que con su esfuerzo, han hecho posible el desarrollo de esta nueva opción de manejo.

A mi familia por su valioso apoyo y comprensión.

Dedicatoria

A mis Padres: Lucía y Daniel.

Gracias por sus consejos, por su apoyo incondicional, por desprenderse de mí de pequeño, por soportar la angustia de su alma sentimental, por enseñarme a soñar, a caminar, a luchar y a superar el miedo sin desmayar.

Gracias por la vida, que me ha dado tanto, me dio dos luceros, que cuando los abro, perfecto distingo, lo negro del blanco, y en el alto cielo su fondo estrellado, y en las multitudes a la mujer que yo amo.

Violeta Parra

No te rindas, por favor no cedas, aunque el frío queme, aunque el miedo muerda, aunque el sol se esconda, y se calle el viento, aún hay fuego en tu alma, aún hay vida en tus sueños. Porque la vida es tuya y tuyo también el deseo, porque cada día es un comienzo nuevo, porque esta es la hora y el mejor momento.

Mario Benedetti

A mis hijos: Ernesto y Luis Ángel.

“Hay hombres que luchan un día y son buenos. Hay otros que luchan un año y son mejores. Hay quienes luchan muchos años, y son muy buenos, pero hay los que luchan toda la vida, esos son los imprescindibles.

Bertolt Brecht

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|------|---|----|
| I. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. | ANTECEDENTES..... | 3 |
| | 2.1.1 Importancia económica del guaje rojo..... | 7 |
| | 2.1.2 Situación del guaje rojo en México..... | 9 |
| | 2.2 Pitahaya (Hylocereus undatus). | 10 |
| | 2.2.1 Situación de la pitahaya en México..... | 12 |
| | 2.2.2 Usos de la pitahaya..... | 12 |
| | 2.3 Pitaya de mayo (Stenocereus pruinosus) | 13 |
| | 2.3.1 Usos de la pitaya..... | 13 |
| | 2.4 Sistema de cultivo tradicional..... | 14 |
| | 2.5 Sistema de cultivo asociado guaje, pitaya y pitahaya..... | 14 |
| III. | JUSTIFICACIÓN | 16 |
| IV. | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 18 |
| V. | OBJETIVOS | 19 |
| | 5.1 Objetivo general | 19 |
| | 5.2 Objetivos particulares..... | 19 |
| VI. | HIPÓTESIS..... | 19 |
| VII. | MARCO TEÓRICO | 20 |
| | 7.1 Concepto de sustentabilidad | 20 |
| | 7.2 Sistema de cultivo asociado..... | 21 |
| | 7.3 Funciones del suelo y la materia orgánica. | 23 |
| | 7.4 Propiedades físicas y químicas en los suelos. | 25 |
| | 7.5 Generalidades de la zona de estudio | 26 |
| | 7.5.1 Localización | 26 |

| | |
|--|----|
| 7.5.2 Caracterización del área de estudio..... | 27 |
| 7.5.3 Condiciones de la agricultura en la zona de estudio..... | 28 |
| 7.5.4 Clima..... | 29 |
| 7.5.5 Suelos..... | 29 |
| 7.5.6 Geología..... | 29 |
| | |
| VIII. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 30 |
| | |
| IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 35 |
| 9.1 Propiedades y características de los suelos como indicadores ambientales. | 35 |
| 9.2 Caracterización del suelo en el sistema de cultivo asociado..... | 41 |
| 9.2.1 Descripción del perfil del Sistema de Cultivo Asociado 1 (SCA-1)..... | 41 |
| 9.3 Caracterización de los suelos en el sistema de cultivo tradicional. | 43 |
| 9.3.1 Descripción del perfil del sistema de cultivo tradicional (SCT- 2)..... | 43 |
| 9.3.2 Descripción perfil SCT-3..... | 45 |
| 9.3.3 Descripción perfil SCT-4..... | 47 |
| 9.3.4 Descripción perfil SCT-5..... | 48 |
| 9.3.5 Descripción perfil SCT-6..... | 50 |
| 9.4 Determinación de la densidad aparente del suelo..... | 52 |
| 9.5 Contenidos de humedad del suelo..... | 60 |
| 9.6 Actividad biológica en los suelos..... | 62 |
| 9.7 Indicadores económicos y sociales..... | 69 |
| 9.8 Sistema de cultivo asociado vs Sistema de cultivo tradicional..... | 76 |
| 9.9 Otras ventajas del sistema de cultivo asociado (guaje, pitaya y pitahaya)... | 84 |
| | |
| X. CONCLUSIONES..... | 93 |
| | |
| XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 95 |

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo agrícola en la región Mixteca Poblana se encuentra en atraso, debido a la falta de asistencia técnica, deficiente infraestructura agrícola, escasos recursos económicos para la inversión, y condiciones edafoclimáticas adversas para la producción de cultivos tradicionales, como el maíz y el frijol de temporal; escenario que limita la producción de alimentos y la generación de ingresos. Una alternativa para enfrentar esta situación, es extender a nivel de huerto comercial, el cultivo de especies de frutos comestibles de conocimiento y aceptación regional como el guaje rojo, la pitaya de mayo y la pitahaya, comunes de encontrar en los patios y traspatios de la región, y que incluso desarrollan de manera natural (caso del guaje rojo) en los predios de cultivo y en los montes de selva baja caducifolia ahí prevaleciente, lo que evidencia su amplia adaptación a los nichos ecológicos existentes. Por otra parte existe en la región de estudio un acentuado minifundio, y una forma de aprovechar esta condición es a través de la diversificación de cultivos para incrementar la producción de alimentos, generar ingresos continuos, evitar riesgos atribuibles a contingencias ambientales y minimizar fluctuaciones de precios de los productos en el mercado, sin alterar la base física de las unidades productivas y su entorno, haciéndolo sostenible en el tiempo y en el espacio. La producción agrícola de manera sustentable, con el enfoque de manejo holístico de agroecosistemas. Para ello, en 2004 se diseñó y estableció en el predio “el Llano”, en San Felipe Otlaltepec, municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla, una parcela de cultivo asociado de las especies guaje rojo, pitaya de mayo y pitahaya, manejados con base en un paquete tecnológico con principios de sustentabilidad. Luego de diez años de su establecimiento, se evaluaron y cuantificaron variables e indicadores sociales, económicos y ambientales, con los objetivos de determinar el nivel de conservación y sustentabilidad y compararlo con el sistema de cultivo tradicional actualmente practicado en la Mixteca Poblana; determinar las ventajas y desventajas de cada uno a nivel social, económico y ambiental; y en su caso, promover su adopción como alternativa para las zonas que cumplan con similares características climáticas y edáficas que el área de estudio.

II. ANTECEDENTES

El sistema de cultivo asociado se refiere a la plantación en una unidad de superficie de dos o más especies mediante un adecuado arreglo topológico en función del comportamiento anatómico, fisiológico y fenológico de cada especie de tal manera que permita a cada una captar y utilizar de manera eficiente los factores ambientales (luz, CO₂, agua, nutrientes minerales del suelo) que participan en la fotosíntesis.

El sistema de cultivo asociado en este trabajo de investigación considera el aprovechamiento de tres especies guaje rojo (*Leucaena esculenta* Benth), pitaya de mayo (*Stenocereus pruinosus*) y pitahaya (*Hylocereus undatus*.) el cual manejado con apego a un paquete tecnológico sustentable, permite incrementar la cantidad y calidad de la producción por unidad de superficie, mejorar los ingresos, producir y generar ingresos en diferentes épocas del año, diversificar la producción, conservar, mejorar el ambiente y favorecer la sustentabilidad del esquema de producción en beneficio de las comunidades pobres y de los grupos indígenas Popolocas y Mixtecos que allí habitan.

El guaje rojo (Figura 1), la pitahaya (Figura 7) y la pitaya de mayo (Figura 8) forman parte de la biodiversidad endémica y nativa de la selva baja caducifolia que prevalece en la Mixteca Poblana, son especies ampliamente adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas de esa región; han formado parte de la dieta alimenticia, han constituido recurso medicinal y elemento cultural de pueblos y grupos indígenas Mixtecos y Popolocas; su existencia ha estado confinada a pequeñas áreas de patio y traspatio de solares urbanos y rurales y la masificación de su cultivo es incipiente.

El manejo sustentable de las tres especies incluye aspectos de selección y reproducción de plantas en vivero, trazo en el predio de cultivo, apertura de cepas y plantación, aplicación de humus de lombriz y compostas como fuente principal de nutrientes complementado con mínima proporción de fertilizantes químicos, captación del agua de lluvia y su aplicación en la rizósfera mediante goteo, empleo

de coberturas con residuos de cosecha, poda de formación, fructificación y saneamiento; uso de productos orgánicos y biológicos para el control de plagas y enfermedades, uso de hierbas anuales y pastos que desarrollan en el estrato bajo como forraje para alimento de ganado en pastoreo y acolchado en la zona de raíces, cosecha, selección, acondicionamiento y empaque para la venta.

El sistema de cultivo tradicional es el practicado por campesinos e indígenas en la Mixteca Poblana. Se siembra maíz, frijol y maíz asociado con frijol en condiciones de temporal. El 48% de la producción de maíz, el 100% del frijol y el 18% de guaje se destina al autoconsumo, el resto de la cosecha es vendida para complementar la adquisición de bienes básicos de sobrevivencia.

Los árboles de guaje desarrollan de manera natural en los predios de cultivo sin que se les proporcione ningún manejo; la única práctica que se realiza es la prevención y combate de la hormiga roja y en ocasiones del gusano falso medidor del follaje. En promedio crecen 26 árboles por hectárea siendo el status actual del guaje de vida silvestre o de recolección (Encuesta socioeconómica, 2015).

El trabajo de investigación se realizó en San Felipe Otlaltepec del municipio de, Tepexi de Rodríguez, y Molcaxac municipio de Molcaxac Puebla. Ambas localidades enclavadas en la región Mixteca del estado de Puebla, México. El objetivo fue determinar la sustentabilidad del sistema de cultivo asociado (SCA) mediante indicadores económicos, sociales y ambientales y compararlo con el nivel de sustentabilidad del sistema de cultivo tradicional (SCT) actualmente practicado.



Figura 1. Fruto (vaina) del guaje rojo tipo Tepexi. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. Año2014.



Figura 2. Indígena Popoloca con implemento de corte (gancho) para recolección del guaje rojo, San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

El guaje rojo (*Leucaena esculenta* Benth) se emplea en la dieta familiar, en la alimentación del ganado y también se comercializa (Figuras 3 y 4), sin embargo, la cantidad de guaje que actualmente se produce no es suficiente para satisfacer la creciente y exigente demanda en cantidad y calidad de los mercados; los métodos empleados para el establecimiento y manejo de las plantas no son capaces de

hacer que esta produzca lo que su potencial genético le permite. En la mayoría de los casos, los campesinos colectan el fruto del guaje de árboles (Figura 5) que crecen en sus predios de manera natural sin que les proporcionen manejos propios de un cultivo; las plantas están distribuidas al azar; nacen y crecen sin que exista un seguimiento tecnológico durante su desarrollo.

Cuando existe interés de propagar la planta, se escogen vainas con características fenotípicas atractivas como color rojo, tamaño grande y cáscara gruesa principalmente; sus semillas se depositan al suelo en época de lluvias sin seguir un orden de distribución en el predio de cultivo.



Figura 3. Descarga de guaje rojo en un centro de acopio en San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

2.1 Guaje rojo (*Leucaena esculenta* Benth)

El guaje rojo pertenece a la familia de las leguminosas y es una especie endémica de la zona depresión del balsas de la región “Mexicana” (Zárata, 1994).

La vaina del guaje rojo es una legumbre con múltiple utilidad en la cocina Mexicana. Es una especie que desde tiempos prehispánicos ha acompañado a los habitantes de la Mixteca y ha sido pilar en su alimentación y aún hoy día tiene

múltiples usos. El follaje y los botones florales tiernos (*hueshquelite*) se consumen como verdura, el follaje en general y los desperdicios de cosecha se utilizan como alimento para el ganado, la semilla en verde se utiliza para la elaboración de platillos típicos como el guaxmole, mole de cadera, salsas o bien para consumo en fresco o en vaina asada; las semillas secas se consumen tostadas al comal, también se hace harina y germinados; la harina de semilla seca se utiliza como concentrado para alimento de ganado así como materia prima para elaborar y condimentar comidas regionales; la planta proporciona leña para uso doméstico y para la construcción de cercas o corrales (Encuesta socioeconómica 2015). Las semillas de guaje podrían considerarse un alimento funcional debido a su calidad nutricional y mayor actividad antioxidante (Román, 2014).



Figura 4. Genotipos de guaje rojo tipo Tepexi que se cosecha en San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014.

2.1.1 Importancia económica del guaje rojo.

En la región Mixteca del estado de Puebla, acuden compradores a los centros de acopio que almacenan el producto y acaparan la vaina (Figura 6) para comercializarlo a su vez en los centros de distribución en el Estado de Puebla

(Puebla capital, Huixcolotla, Tehuacán, Atlixco); estado de México (Toluca, Tenancingo), Distrito Federal, Morelos (Cuautla), Tlaxcala, Veracruz entre otros.



Figura 5. Forma de recolectar el guaje rojo, sistema tradicional San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014.

Por la venta de la vaina (hasta ahora de recolección), tan sólo en San Felipe Otlaltepec en el ciclo productivo 2014, se generó una derrama económica de 6 millones de pesos por venta de 857 t lo cual es importante si se considera que para las condiciones del temporal y de suelos pobres la producción de maíz y frijol es solo de subsistencia (Encuesta socioeconómica, 2015).

En el periodo productivo 2014, el precio de venta promedio al mayoreo del producto de recolección fue de \$6.42/kg, el precio promedio del producto sin clasificar producido en el sistema de cultivo asociado fue de \$9.43/kg y el precio promedio de venta de vaina roja clasificada para el mercado de exportación fue de \$25/kg; ello refleja la importancia de producir bajo la guía de un paquete tecnológico que tienda a incrementar la calidad y cantidad de la producción. Existe demanda de vaina fresca para puntos de venta en Estados Unidos de América (EEUU) como Houston, New York, Chicago y Los Ángeles California, sin embargo

por la insignificante magnitud de estas operaciones comerciales no hay registro de exportación en los censos agropecuarios (INEGI, 2007). La limitante para atender este importante mercado es la falta de producción en cantidad y calidad, dos aspectos que solo podrán cumplirse mediante la tecnificación de las unidades de producción y el fortalecimiento de la actividad primaria.

2.1.2 Situación del guaje rojo en México.

Su cultivo es incipiente y la superficie establecida con guaje rojo es mínima, así, en 2014 a nivel nacional se registran 735 ha establecidas de guaje, de las cuales en Puebla se registran 268 ha y los únicos dos estados productores son Puebla y Morelos (SIAP-SAGARPA 2014). Sin embargo la información que se da sobre su cultivo es confusa toda vez que no se especifica a qué especie corresponden los datos de la superficie plantada pues también existen plantaciones de guaje verde que se emplea para cosecha de vaina y para producción de forraje verde.



Figura 6. Empaque del guaje en costales para la comercialización, ciclo productivo 2014. San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014.

2.2 Pitahaya (*Hylocereus undatus*).

Es una planta de hábito trepador que ha dado muestra de resistencia a la sequía y sobre todo cuando se ha arraigado al predio de cultivo (Figura 7).



Figura 7. Pitahaya sobre guaje rojo, ciclo productivo 2014. San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014.

H. undatus pertenece a la familia *Cactaceae*, subfamilia *Cactoideae*, tribu *Hylocereeae* y género *Hylocereus*. Se reconocen 31 especies y tres de ellas se han registrado en México (Castillo *et al.*, 1996).

La pitahaya ocupa una amplia zona, desde los climas tropicales, subtropicales y semiáridos de México. Fouqué en (1972) la ubica como originaria del sur de México y Colombia mientras que otros investigadores como Jorge y Ferro (1989) mencionan que su probable origen es América del sur.

Análisis de variabilidad genética de materiales colectados en México y Colombia sugieren que en México existe variabilidad genética endémica y que el país es uno de varios centros de diversidad de *H. undatus* (Solano *et al.*, 2005).

Presenta metabolismo del ácido crassuláceo (CAM) y los tallos que crecen en condiciones de bajos niveles de radiación fotosintéticamente activa (RFA)

absorben más CO₂ que aquellos que crecen en niveles altos de RFA. Cuando su contenido relativo de agua (CRA) es del 60% tienden a presentar su máxima tasa de intercambio (tic) de CO₂ al finalizar la noche y cuando el CRA es del 34% tienden a mostrar CAM reducido (Ortiz, 1994).

México cuenta con una gran gama de climas y tipos de *Hylocereus* que permitirían su cultivo para satisfacer demandas de frutos en mercados a nivel nacional e internacional dada su ubicación geográfica. Sin embargo se requiere de una serie de conocimientos básicos, agronómicos, de comercialización e industrialización para aprovechar mejor los recursos y condiciones climáticas (Ortiz, 1994). El cultivo de la pitahaya posee cosechas uniformes, con excelentes características de sus frutos, pues estos no tienen espinas, y presentan un período considerable (15 días) de vida post cosecha. Además, el cultivo de pitahaya posee características adecuadas para el aprovechamiento eficiente del agua y nutrimentos lo cual favorece su adaptabilidad en las regiones cálidas secas con suelos superficiales y pedregosos (Martínez, 1995).

La pitahaya tiene una alta capacidad para adaptarse a diversos tipos de suelos tales como los calizos o Redzinas, los Litosoles poco profundos y pedregosos, Gleysoles alcalinos y con alto contenido de materia orgánica, Luvisoles con arcillas y moderadamente ácidos, Feozem ricos en materia orgánica y nutrientes, Regosoles suelos poco desarrollados, Vertisoles ricos en materia orgánica, negros oscuros y que se agrietan durante la sequía, Yermosoles y Xerosoles suelos muy erosionables de color claro y escasos en materia orgánica y nitrógeno, con acumulación de yeso y carbonatos de calcio en la superficie y en diversas profundidades (Castillo *et al.*, 1996).

En México, el género *Hylocereus*, ha despertado el interés de productores en distintos estados. Se cultivó en traspatio en tiempos históricos y se encuentra silvestre en los estados de Oaxaca, Puebla, Veracruz, Tabasco y Campeche (Mercado y Granados; 1999).

La pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) responde bien a la aplicación de composta con fertilizante químico fórmula N:P:K:Mg (9.6:4.8:17.6:2.4) a una relación de 12 y 1.2 kg planta⁻¹ año⁻¹, se incrementa el número de flores y frutos, obteniendo peso de fruto de 311 g fruto⁻¹ y 24.5 kg planta⁻¹ año⁻¹ y con menor rendimiento con solo composta (Then, 2011).

2.2.1 Situación de la pitahaya en México.

El cultivo de la pitahaya es incipiente., La superficie plantada a nivel nacional en 2014 fue de 678 ha de las cuales, 38 hectáreas corresponden al estado de Puebla y todos ubicados en la Mixteca Poblana. Los estados productores son Guerrero, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Yucatán y Nayarit (SIAP-SAGARPA, 2014). Por tanto no existe producción suficiente en cantidad y calidad para satisfacer la demanda de los mercados nacionales y menos el de exportación donde la tendencia de la demanda es cada vez mayor.

El modelo de producción adoptado por quienes han incursionado en el establecimiento de nuevas plantaciones es en monocultivo utilizando como tutores, espalderas de alambre sostenidas con postes de madera y de concreto. La escasa producción a nivel nacional repercute negativamente en el precio de compra para el consumidor final pues mientras que la venta al mayoreo a los acaparadores es de \$20/kg el precio para el consumidor oscila de \$40 a \$50/kg.

2.2.2 Usos de la pitahaya

Principalmente para consumo en fresco, también para la elaboración de helados, paletas, aguas frescas, fruta deshidratada, mermeladas entre otros.

La pulpa de la pitahaya está compuesta por un 82 un 88% de agua; los sólidos solubles totales (SST) están compuestos por glucosa (30 a 55 g L⁻¹), fructuosa (4 a 20 g L⁻¹) y sacarosa (2.8 a 7.5 mg/g). El fruto tiene concentraciones de ácido málico (8.20 a 6.08 g L⁻¹), ácido cítrico (0.95 a 2.11 g L⁻¹), ácido láctico (0.48 a 0.91 g L⁻¹), ácido oxálico (0.19 a 0.42 g L⁻¹) y vitamina C (0.26 a 0.58 g L⁻¹) (Esquivel *et al.*, 2007).

2.3 Pitaya de mayo (*Stenocereus pruinosus*)

La pitaya desarrolla en forma silvestre en los montes de la Mixteca Poblana e inmersa en la vegetación caducifolia. Aprovecha los rayos del sol para florear y producir (enero a mayo) precisamente en los meses en que la vegetación de selva baja caducifolia esta descubierta en su follaje. La pitaya de mayo emite sus primordios florales durante los meses de enero y febrero (Figura 8), desarrolla sus frutos durante los meses de febrero, marzo, abril y madura desde mediados de abril y durante todo el mes de mayo (de ahí su nombre), finaliza su producción a mediados de junio.

La pitaya de mayo y otras 22 a 23 especies más de cactáceas son endémicas de la Región Mixteca de la zona centro y abarcan los estados de Oaxaca, Puebla y Guerrero (Sánchez, 1984).

El aprovechamiento de esta especie en México se ha dado principalmente por la recolección de frutos en plantas no cultivadas y desarrolladas en números reducidos en solares (predios suburbanos y urbanos) por lo que en las poblaciones rurales su cultivo es incipiente (Martínez *et al.*, 1995).

El cultivo de la pitaya de mayo es incipiente, en 2014 se registra una superficie plantada a nivel nacional de apenas 1,219 ha de las cuales 166 corresponden al estado de Puebla, 1,038 al estado de Oaxaca y 15 al de Morelos. Los estados productores son Oaxaca, Puebla y Morelos (SIAP-SAGARPA 2014).

2.3.1 Usos de la pitaya

La pitaya se usa principalmente para consumo en fresco, también como materia prima para la elaboración de helados, paletas, aguas frescas y mermeladas.

2.4 Sistema de cultivo tradicional.

En los predios de cultivo del sistema tradicional desarrollan de manera natural árboles de guaje rojo a los que se les permite su estancia pero sin fomentar su proliferación. La única práctica que se realiza es la prevención y combate de la hormiga roja y en ocasiones del gusano falso medidor del follaje. Los árboles de guaje al estar en predios sin protección (sin cerca) están sujetos a la depredación, principalmente del ganado caprino y por ello tardan a veces hasta 10 años en desarrollar e iniciar su producción;



Figura 8. Pitaya de mayo, cultivada en San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014.

En promedio existen 26 árboles por hectárea y no son sometidos a ningún tratamiento agrotécnico ni se aplica ninguna medida para conservar el suelo, siendo el status actual del guaje de vida silvestre o de recolección (Encuesta socioeconómica, 2015).

2.5 Sistema de cultivo asociado guaje, pitaya y pitahaya.

Se refiere a la plantación en una unidad de superficie de tres especies; Guaje Rojo (*Leucaena esculenta*), Pitaya de mayo (*Stenocereus pruinosus*) y Pitahaya (*Hylocereus undatus*). Distribuidas mediante un arreglo topológico de forma que

cada especie reciba la cantidad de luz necesaria para su desarrollo, evitando una excesiva densidad de plantación y sombreado que afecte la productividad y favorezca la incidencia de plagas y enfermedades.

La cubierta vegetal espacial en este sistema de cultivo se compone de tres estratos, el primero conformado por la capa arbórea de las plantas de guaje, un segundo estrato por las plantas de pitaya y pitahaya y el tercer estrato constituido por pasto nativo y hierbas de hoja ancha que cubren la superficie del suelo.

III. JUSTIFICACIÓN

La actividad agrícola en la región Mixteca Poblana se encuentra en una situación considerada de atraso, debido a la falta de asistencia técnica, deficiente infraestructura agrícola y escasez de recursos económicos para la inversión, situación que se acentúa con las condiciones edáficas y climáticas adversas que limitan la producción agrícola de cultivos tradicionales como el maíz y el frijol de temporal. Lo antes mencionado, coloca a sus pobladores en franca desventaja para la generación de ingresos y alimentos. El sistema de cultivo asociado guaje, pitaya y pitahaya se presenta como una alternativa productiva, de generación de ingresos y de empleo para los agroecosistemas áridos y semiáridos de la región Mixteca Poblana.

Por ello, la comparación de los sistemas agrícolas de cultivos tradicionales y asociados, mediante variables e indicadores ambientales, económicos y sociales permitirá determinar cuál es el mejor sistema y en su caso recomendar, con las condiciones inherentes, su adopción para los agroecosistemas con similares características de la zona de estudio.

El sistema de cultivo asociado guaje, pitaya y pitahaya se incluye en la estrategia de contrarrestar los efectos negativos de cambio del uso del suelo principalmente por las actividades agropecuarias y otras de tipo antropocéntrico que representan mayor satisfacción social y en la cual se altera la biodiversidad mediante la disminución de superficies con vegetación natural como bosques y pastizales Trucios *et al.*, (2013).

Posterior a la depredación de la biodiversidad por apertura de tierras para las actividades agropecuarias, sobreviene la erosión del suelo ocasionado por su mal manejo y manejo inadecuado de los cultivos así como por la práctica del monocultivo en la producción de alimentos (Raigón, 2006).

La degradación de los suelos agrícolas por efecto de la erosión hídrica (impacto de las gotas de lluvia) también es atenuado por el efecto combinado de la

cobertura vegetal y los sistemas de raíces de las plantas, por lo que en el sistema de cultivo asociado guaje, pitaya y pitahaya al prevalecer estas condiciones durante todo el año se evita este tipo de afectación.

La extracción de los productos vegetales de la biodiversidad en la región Mixteca Poblana se ha dado de manera intensa pero desordenada lo cual ha ocasionado la pronta disminución de los recursos forestales (Guízar, 2010) por lo que la adopción de su cultivo de manera sustentable permitirá resguardar y restaurar ecosistemas alterados constituyendo la prioridad inmediata por lo que de entre las 126 especies útiles, la pitaya, el guaje y la pitahaya son especies que se encontraron adecuadas por su importancia socioeconómica para recomendarlas en planes de aprovechamiento y manejo en cultivo (Martínez, 2012).

Todo esto ha llevado a poner especial atención en prácticas de manejo agrícola sustentables así como aprovechar de manera integral y responsable especies endémicas y nativas cuyos frutos son ampliamente conocidos y aceptados por los pobladores de la Mixteca Poblana y que por su adaptabilidad a las condiciones ya mencionadas, representan un potencial grande y una alternativa para los campesinos e indígenas que habitan en la zona Mixteca Poblana y dónde la agricultura representa la principal actividad económica .

Por ello, la comparación de ambos sistemas, mediante variables e indicadores ambientales, económicos y sociales permitirá validar el mejor sistema desde la perspectiva de las dimensiones ambiental, económico y social y en su caso recomendar, con las condiciones inherentes, su adopción para los agroecosistemas con similares características de la zona de estudio.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un gran porcentaje (94.26%) de superficie agrícola en la zona de estudio es de temporal y la economía de las familias campesinas e indígenas ahí asentadas dependen principalmente de la producción de maíz, frijol y recolección del guaje de árboles que nacen y desarrollan de manera natural en los predios de cultivo.

Las condiciones limitantes para la productividad del sistema de cultivo tradicional de temporal prevalecientes en la Mixteca Poblana; suelos erosionados, superficiales, ligeros y pedregosos (piedra de tipo calizo), lluvias limitadas (400 a 500 mm) erráticas y torrenciales, con un periodo marcado y prolongado de sequía interestival (canícula) entre los meses de julio y agosto, precipitaciones escasas y torrenciales, carencia de infraestructura hidráulica, falta de recursos para la inversión y falta de asesoría técnica, repercuten negativamente en los rendimientos de las especies cultivadas, siendo estos insuficientes para sostener y satisfacer necesidades básicas de las familias campesinas por lo que gran porcentaje de la población emigra para buscar mejorar sus ingresos. La emigración de la fuerza de trabajo y principalmente de la población económicamente activa, conlleva al abandono de la superficie agrícola y a la dependencia cada vez mayor de alimentos de otros países productores.

No obstante que se han hecho intentos por cultivar intensivamente especies como el guaje rojo, la pitaya y pitahaya, el éxito de estos proyectos ha estado limitado debido al desconocimiento de las técnicas de manejo y a la falta de un paquete tecnológico validado que guie su ejecución.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Determinar el nivel de sustentabilidad del sistema de cultivo asociado de las especies guaje rojo, pitaya de mayo y pitahaya así como del sistema de cultivo tradicional actualmente practicado, comparar sus ventajas, desventajas y promover la adopción del de mayor sustentabilidad.

5.2 Objetivos particulares

- a) Desarrollar y proponer un sistema agrícola sustentable para las zonas áridas y semiáridas del sur del estado de Puebla que combine la producción de bienes y la conservación de los suelos y el entorno.
- b) Favorecer la agricultura sustentable como estrategia productiva para el combate del hambre y la pobreza sin afectar el entorno.
- c) Fortalecer la conservación *in situ* de las especies guaje, pitaya y pitahaya como parte importante de la biodiversidad.
- d) Contribuir en la reproducción de la cultura Popoloca y Mixteca de la zona fincada en el manejo sustentable de la naturaleza.

VI. HIPÓTESIS

El sistema de cultivo asociado guaje rojo, pitaya de mayo y pitahaya constituye una propuesta de producción sustentable para los ecosistemas agrícolas de las zonas áridas y semiáridas del sur del estado de Puebla.

VII. MARCO TEÓRICO

La superficie agrícola en el estado de Puebla es de 1,011,643 ha de las cuales 118,968 (12%) son de riego y 892,675 (88%) de temporal. En el ciclo PV 2007 se cosecharon 455,811 ha de maíz blanco con rendimiento de 1,650 kg ha⁻¹ y 64,179 ha de frijol con rendimiento de 500 kg ha⁻¹ (INEGI, 2007).

De la superficie agrícola en la Mixteca Poblana (137,640 ha), el 91.2% es de temporal y 8.8% de riego (INEGI, 2007). De la superficie cosechada en el año 2007, 117,230 ha (93.3%) fueron de maíz, 6,230 ha (5%) de frijol y solo 2,130 ha (1.7%) correspondieron otras especies como el amaranto y sorgo. El uso actual de la superficie agrícola es de manera principal para los cultivos de maíz y frijol.

En el Municipio de Tepexi de Rodríguez, la superficie total agrícola es de 8,507 ha de las cuales 487 (5.74%) son de riego y 8,019 (94.26%) de temporal. En el ciclo PV 2007 se cosecharon 4,063 ha con maíz blanco con rendimiento de 892 kg ha⁻¹ y 1,352 ha de frijol con rendimiento de 362 kg ha⁻¹ (INEGI, 2007).

7.1 Concepto de sustentabilidad

El concepto de desarrollo sustentable surge a partir del reconocimiento y profundización de la problemática ambiental que padece el mundo. No puede existir un desarrollo sin sostenibilidad entendiéndose el desarrollo como un proceso mediante el cual una población humana, a partir de un patrimonio natural y cultural, se centra en el objetivo de lograr su permanencia en el tiempo y en el espacio, en condiciones de equidad y respetando los derechos de los otros seres vivos y las generaciones futuras (ONU, 1987).

Los principios de sustentabilidad en el cultivo asociado se refieren a los fundamentos agroecológicos aplicables al manejo de agroecosistemas que consideran a la unidad agrícola como ecosistema global. Permiten obtener sustentabilidad biológica y viabilidad económica en unidades de producción agropecuaria y abarcan cuatro rubros: a) Diversificación espacial y temporal, b) Integración de la producción animal y vegetal, c) Mantenimiento de altas tasas de

reciclaje de desechos animales y vegetales. d) Optimización del uso del espacio, con un diseño adecuado de la superficie agrícola (Siau, 1994).

Un sistema es un arreglo de componentes físicos unidos o relacionados en forma tal que forman y actúan como una unidad y un todo, y que tiene un objetivo., A partir de esta definición dada para un sistema genérico, podemos definir a un sistema agropecuario como aquel que tiene a lo menos uno de sus componentes u objetivos con dimensión agrícola (Siau, 1994).

La biodiversidad, en su sentido más general, está representada por la interacción que se produce entre todos los organismos vivos: vegetales, animales y microorganismos existentes en un determinado ecosistema. La agricultura moderna, que ocupa del 25-30% de los suelos del mundo, es una de las principales causas de disminución de ella.

7.2 Sistema de cultivo asociado.

La asociación de cultivos es una de las técnicas más empleadas en Agricultura Ecológica, siempre que no se presente competencia por los nutrientes, la superficie y otros factores entre los cultivos presentes. Los contenidos nutricionales, en el material vegetal del cultivo asociado y el monocultivo, son muy parecidos, así como el rendimiento en peso unitario (Raigón *et al.*, 2006).

Un cultivo asociado se refiere a la plantación en una unidad de superficie de dos o más especies (Ejemplo guaje, pitaya y pitahaya) con una distribución óptima de sus elementos. Se considera el comportamiento anatómico, fisiológico y fenológico de cada especie que permite a cada uno captar y utilizar de manera eficiente los factores ambientales (luz, CO₂, agua, nutrientes minerales del suelo) que participan en la fotosíntesis y que sometido a un manejo de cultivo guiado por un paquete tecnológico con carácter sustentable, permite disminuir las competencias por nutrientes y espacio entre las plantas y expresar el máximo potencial productivo del cultivo para beneficio del agricultor y su entorno social y ambiental.

El manejo de policultivos requiere del diseño de una combinación espacial y temporal de cultivos en un área. Existen múltiples arreglos posibles de cultivos en

una superficie y cada uno genera diferentes efectos sobre las poblaciones vegetales y animales presentes en el área (Siau, 1994).

La eficiencia en el uso del suelo es mayor en el cultivo asociado, por lo que para obtener la misma producción que en una ha de cultivo asociado se necesita una mayor superficie (Raigón *et al.*, 2006).

El cultivo asociado, es un sistema que optimiza los beneficios del productor pequeño, pues aprovecha al máximo el rendimiento total de su unidad de producción, mediante la interacción simultánea de especies perennes; ello permite, la disminución de los costos, reduce los daños ecológicos, aumenta la rentabilidad de los productos, y reduce los riesgos de mercado, y de los competidores bióticos. El concepto reside en la selección de especies que tengan, alturas de plantas y épocas de cosecha diferentes, permitiendo una producción constante y continua durante el año (Leal, 2000). El cultivo asociado se integra a la agricultura alternativa, lo que se define como el método de cultivo que intenta proporcionar un medio ambiente balanceado, con alto rendimiento y fertilidad del suelo sostenido y control natural de plagas mediante el diseño de agroecosistemas diversificados así como al empleo de tecnologías auto-sostenidas. Las estrategias de manejo asociado se apoyan en conceptos ecológicos que finalmente da como resultado un óptimo ciclaje de nutrientes y materia orgánica, flujos cerrados de energía, poblaciones balanceadas de plagas y un uso múltiple del suelo y del paisaje, aprovecha las complementariedades y sinergias que surgen al combinar cultivos, árboles y animales en diferentes arreglos espaciales y temporales (Altieri, 2000).

En el sistema de cultivo asociado se realizan prácticas de manejo como fertilización a base de humus sólido y humus líquido, reduciendo al mínimo el uso de fertilizantes químicos, riego por goteo teniendo como fuente la captación de agua de lluvia en depósitos cubiertos con plásticos y geomembranas, empleo de podas como técnica para equilibrar la cobertura vegetal y dar condiciones de desarrollo, producción y saneamiento a las especies en cultivo, control de plagas y enfermedades empleando productos orgánicos y biológicos, aprovechamiento de

la vegetación del estrato bajo constituido por pasto nativo y hierbas de hoja ancha como forraje para el pastoreo del ganado lo cual reemplaza el concepto de control de malezas por aprovechamiento del forraje en la integración de la producción vegetal y animal y el ciclaje continuo de energía.

La diversidad interespecífica e intraespecífica asegura varias cosechas., La conservación "*in situ*" de la diversidad nativa de cultivos solo es posible mediante la preservación de los agroecosistemas con el manejo tradicional y más si este manejo es guiado por los conocimientos que tienen los agricultores locales sobre las plantas y sus requisitos (Altieri, 2000).

7.3 Funciones del suelo y la materia orgánica.

Según Porta *et al* (1999), la importancia de la materia orgánica en el funcionamiento de los ecosistemas es; intervenir de forma activa en la formación del suelo, favorecer el crecimiento y desarrollo de los microorganismos, influir en el movimiento y almacenamiento del agua, condicionar el intercambio catiónico y es fuente de nutrientes para las plantas. El suelo es un almacén de carbono (C) importante en la mitigación de los gases de efecto invernadero, debido a que protege físicamente la materia orgánica (MO), En un estudio para para cuantificar el C asociado a suelos bajo diferentes usos en el sur de Tabasco, Sánchez (2011) encontró que La mayor acumulación de MO y C se registró en la superficie y decreció en un 36% a los 15 cm de profundidad y los usos de suelo que mayor cantidad de MO y C acumularon fueron piña, cítricos, eucalipto y pasto; las menores cantidades fueron registradas en arroz, caña de azúcar y cacao (Sánchez, 2011).

El suelo de zonas áridas y semiáridas es típicamente bajo en materia orgánica por la escasa cubierta vegetal y limitada productividad. El escaso nitrógeno contenido en la materia orgánica de zonas áridas y semiáridas se transforma a compuestos inorgánicos vía los procesos de mineralización, que lo vuelven disponible para las plantas, por lo que se reconoce al nitrógeno como limitante para la productividad de las plantas en esos ecosistemas. La transformación de nitrógeno ocurre por la

descomposición y mineralización llevada a cabo por los microorganismos del suelo, sin embargo en los ambientes áridos, no tienen siempre condiciones ideales para su actividad en cuanto a temperatura y humedad, los valores de mineralización de nitrógeno son mayores bajo el dosel de árboles y arbustos, especialmente leguminosas, comparado con los espacios abiertos adyacentes, lo cual es más acentuado en este tipo de ecosistemas áridos. Mayor cubierta de árboles o arbustos incrementa la presencia de islas de fertilidad, mayor mineralización de nitrógeno, fertilidad del suelo y utilización eficiente de pulsos de lluvia, aumentando la capacidad de amortiguamiento y resiliencia de ecosistemas de zonas áridas y semiáridas (Celaya, 2011).

Para favorecer la retención del suelo, la conservación de la materia orgánica sobre todo en suelos con pendientes mayores del 10%, es importante implementar medidas adicionales para la protección como son: establecer coberturas protectoras, realizar surcado en contorno, construir bordos, priorizar la siembra de barreras vivas y construir un sistema de muros de contención de baja altura, atendiendo a las características de los suelos en la región, donde predominan los suelos pocos profundos; la aplicación de estas medidas van a contribuir a mejorar paulatinamente los suelos, disminuyendo la erosión y creando condiciones propicias para favorecer el desarrollo armónico y sustentable planteados en los Objetivos del Milenio y en el informe Post 2015.

El humus de lombriz, contiene alto porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos, alta carga microbiana (40 millones por gramo de suelo), mejora la estructura de los suelos haciéndolo más permeable al agua y al aire, es un fertilizante bioorgánico activo, su pH es ligeramente ácido (6.8–7.5) y se puede aplicar en cualquier momento y dosis sin riesgo de quemar las plantas; ayuda a retener, filtrar y liberar gradualmente nutrientes a la planta. Además acelera el crecimiento de la raíz y los procesos de brotación, floración y maduración del cultivo. También aumenta la resistencia de las plantas al ataque de plagas y enfermedades (Perdomo, 2000).

7.4 Propiedades físicas y químicas en los suelos.

Las principales características físicas que influyen sobre la estructura del suelo son la profundidad del espacio enraizable, el régimen de humedad (capacidad de agua útil, drenaje) y del aire (macroporosidad). Estas últimas propiedades, en iguales condiciones climáticas, son las principales causantes del cambio en la composición de la vegetación agroforestal (Lal, 2000). El uso irracional de los suelos provoca cambios en sus propiedades, pues llega a afectar la capacidad productiva a través de su influencia sobre la vegetación y tipos de usos posibles en la agricultura (Hernández *et al.*, 2004; 2006). Lo anterior lleva a problemas de degradación de la estructura, compactación del suelo, aumento en la densidad de aparente (D_a) y disminución de la porosidad. Uno de los grandes problemas que enfrentan los agricultores al laborear el suelo es la pérdida paulatina de MO del suelo (Crovetto, 1996; Martínez-Trinidad *et al.*, 2008). Como resultado de esta situación, aumenta el factor de dispersión del suelo, aumenta la D_a y la compactación, disminuye la porosidad, se reduce la superficie activa del suelo para la acción de las raíces en la toma de agua y nutrientes, disminuye la actividad biológica; y como consecuencia, los rendimientos son cada vez más bajos (Murray *et al.*, 2010). Esta situación da lugar a que incrementa el laboreo de suelos, el uso de fertilizantes y otros insumos. De esta forma, el modelo actual se va haciendo insostenible año tras año. Esto ocasiona disminución de las reservas orgánicas del suelo y trae como consecuencia, a corto plazo, una reducción del rendimiento potencial de los cultivos (Manna *et al.*, 2003). Las pérdidas de carbono —como parte de la MO del suelo— no solamente tiene relación con la degradación que ocurre en las propiedades del suelo por la mineralización de la MO (sobre todo en los suelos tropicales), sino también con el problema del cambio climático (Hernández *et al.*, 2006). El papel de la agroforestería es mejorar el suelo, mantener la productividad mediante un manejo planificado, racionalizando el impacto sobre el ambiente (Shibu, 2009). En este contexto, conocer la influencia de las especies arbóreas sobre la estructura de los suelos resulta importante para su utilización en proyectos de recuperación de áreas degradadas o en el manejo de sistemas que buscan la sostenibilidad (Montagnini *et al.*, 1994); a su vez, la

relación Materia Orgánica (MO)-Densidad aparente (Da), en la ecuación $MO - Da = Estructura$, se ve favorecida en la medida que los sistemas agroforestales tienen aportes anuales de hojarasca, exudados y biomasa radicular, suficiente para modificar algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, mediante un incremento del contenido de materia orgánica en la superficie y en el subsuelo.

7.5 Generalidades de la zona de estudio

7.5.1 Localización

EL municipio de Tepexi de Rodríguez (Figura 9 y 10)) se localiza a los $97^{\circ} 55' 04.5''$ de longitud oeste y $18^{\circ} 26' 09.20''$ de latitud norte, a 120 km de la ciudad capital del estado de Puebla. El Municipio de Molcaxac se localiza a los $97^{\circ} 58' 00''$ longitud oeste y $18^{\circ} 38' 06''$ de latitud norte, a 55 km de la ciudad de Puebla.

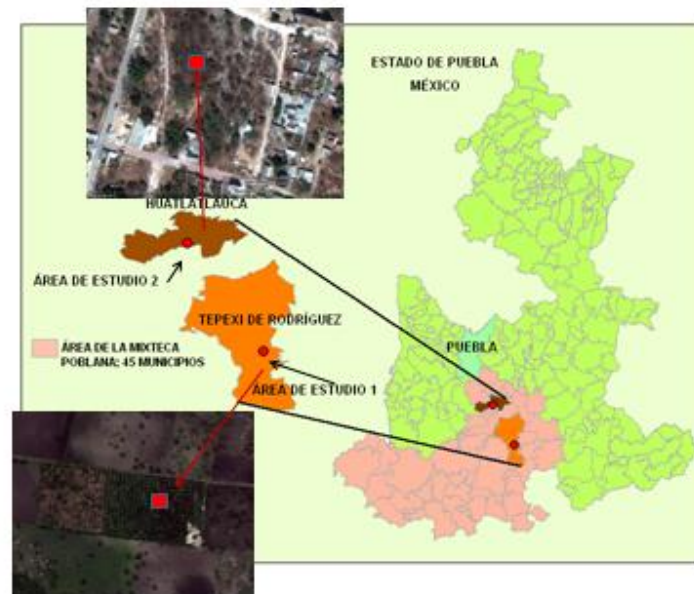


Figura 9. Ubicación del área de estudio, Municipios de Tepexi de Rodríguez y Molcaxac, Puebla, México. 2014.



Figura 10. Vista panorámica del pueblo de San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. La vegetación caducifolia que la rodea es de guaje rojo., marzo 2014

7.5.2 Caracterización del área de estudio.

San Felipe Otlaltepec (Figura 10) cuenta con una población de 1,899 habitantes, de los cuales 950 son económicamente activos (INEGI, 2010). Las actividades económicas en orden de importancia en cuanto al número de habitantes que se dedican a ello son: agricultura 55 %, otras 35 %, comercio 5 % y ganadería 5 %. La agricultura practicada es del tipo de subsistencia ya que las únicas especies cultivadas, intercaladas con el guaje, son maíz y frijol en condiciones de temporal y la totalidad de la producción lograda se destina al autoconsumo. Los rendimientos promedios reportados por ha en el Municipio son de 362 kg en frijol y 892 kg en maíz (INEGI, 2007). Mientras que en San Felipe Otlaltepec son aún menores que el promedio reportado por INEGI en 2007 para el municipio. Datos de unidades productivas encuestadas en 2015 reportan producción de 510 kg de maíz criollo por ha y 91 kg de frijol tipo enredador, cuando la modalidad de cultivo es maíz asociado con frijol, y cuando la siembra de frijol es en monocultivo el rendimiento promedio por ha es de 300 kg. (Encuesta socioeconómica, 2015).

La recolección de guaje rojo es otra actividad que genera ingreso. En promedio se encuentran 26 árboles/ha con producción de 6 kg/ árbol y rendimiento de 152 kg

de guaje/ha destinándose el 18% para el autoconsumo y el 82% para la venta (Encuesta socioeconómica, 2015).

El segundo lugar en cuanto a las actividades económicas lo ocupa el rubro clasificado como otras y que incluye a habitantes dedicados a la música de viento, albañilería, jornaleros agrícolas, obreros, profesionistas y empleados domésticos que han emigrado a las ciudades.

La ganadería se practica como actividad complementaria a la agricultura y es básicamente caprino de pastoreo (sin explotación intensiva) y el número de personas que se dedica a ello es cada vez menor (Encuesta socioeconómica 2015).

En San Felipe Otlaltepec, el 99.5% de la superficie agrícola es de temporal y solo el 0.5% es de riego; la superficie de riego es irrigada con agua de manantiales. La poca superficie de riego está distribuida entre varios comuneros y en esos pequeños predios se cultiva maíz criollo y árboles de aguacate criollo a los que tampoco se les proporciona manejo.

7.5.3 Condiciones de la agricultura en la zona de estudio.

En la población de San Felipe Otlaltepec, lugar donde se ubica el predio de cultivo asociado de guaje, pitaya y pitahaya, la recolección y venta del guaje constituye la única fuente de derrama económica importante durante el periodo de cosecha que abarca los meses de octubre a diciembre, la producción de maíz y frijol apenas alcanza para el consumo familiar. Los rendimientos de maíz y frijol (agricultura tradicional) son mínimos (510 kg en maíz y 300 kg. de frijol por ha respectivamente), no se cultivan otras especies ni se aplica tecnología adecuada en los cultivos básicos (Encuesta socioeconómica 2015). No existe un solo productor con maquinaria agrícola; la preparación de los terrenos, el surcado y los cultivos se hacen con yuntas de burros y bueyes; la siembra se hace tirando la semilla con la mano y se jala la tierra de entre las piedras con los pies para cubrirla, no se aplican fertilizantes químicos, abonos orgánicos, pesticidas, tampoco se siembra semillas mejoradas. Todo lo anterior y la falta de recursos

para la inversión (ausencia de créditos) y escasas de asesoría técnica calificada, hacen que la actividad agrícola sea de subsistencia por lo que gran porcentaje (40%) de la población emigra a las ciudades a emplearse para complementar sus ingresos (Encuesta socioeconómica 2015).

7.5.4 Clima

Presenta un clima semi cálido subhúmedo con lluvias en verano y parte del otoño, con una marcada sequía interestival entre los meses de julio y agosto, clasificada como A(c)w2 cw1, la precipitación promedio de 5 años es de 500 mm anual con distribución heterogénea durante el periodo de lluvias ya que se caracteriza por presencia de fuertes aguaceros en donde gran parte de la precipitación se acumula en un reducido número de veces. Clasificación climática de Koppen modificado por García (1964).

7.5.5 Suelos

Son del tipo Leptosoles réndzicos, de origen calcáreo, de textura migajón arcilloso, color gris oscuro o negro grisáceo, la gran mayoría poco profundos con alto contenido de piedra caliza, pobres en materia orgánica y en general poco aptos para la producción de especies anuales como el maíz y frijol.

7.5.6 Geología

La geología de la zona de estudio está dominada por formaciones calcáreas de la edad mesozoica de origen marino; esta formación cubre el 34.83% de la superficie del estado Puebla, Solano (2012); destaca además, al hacer referencia a la provincia fisiográfica *Sierra Madre del Sur*, que en esta misma, pero más al sureste, se destacan especialmente las calizas de Tepexi de Rodríguez, que forman estratos plegados constituidos por rocas sedimentarias calcáreas de la misma edad, las cuales contienen una gran diversidad de fósiles de peces, con edades de hasta 225 millones de años.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo a la metodología de investigación planteada (Figura 11), para abordar el componente ambiental en el estudio de la sustentabilidad, por la limitante del tiempo y de los recursos económicos disponibles, se decidió abordar únicamente aspectos edáficos como la morfología de suelos, propiedades físicas, químicas, biológicas y aportación de materia seca al suelo por residuos de cosecha.

La comparación se realizó mediante indicadores ambientales, económicos y sociales previamente definidos para lo cual se registraron datos de perfiles de suelos, se cuantificaron unidades de colonias de microorganismos, contenido de materia orgánica, densidad aparente, en cada uno de los predios como parte de los indicadores ambientales; para los indicadores económicos se registraron los costos de producción, rendimientos de las diferentes especies, ingresos por ventas así como la cantidad de forraje que se genera cada año para alimento animal y como indicador social se cuantificó el número de jornales por cada unidad de producción.

Para el estudio de los suelos, se realizaron seis perfiles; cinco en predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional (SCT) “maíz y/o frijol con plantas de guaje sin manejo” y un perfil en un predio donde se practica el sistema de cultivo asociado (SCA) “Guaje, pitaya y pitahaya”. El predio con el sistema de cultivo asociado se denomina “el llano”, tiene una superficie de dos hectáreas y se ubica en la parte norte de la población de San Felipe Otlaltepec, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México; es propiedad del Sr. Daniel Domínguez Aguilar y fue establecido en junio del año 2004 bajo la supervisión y apoyo técnico del Ingeniero agrónomo Isaías Domínguez Hernández. En la población de San Felipe Otlaltepec también se ubican cuatro de los predios cultivados con los sistemas tradicionales y tomados como unidades de estudio. En la población de Molcaxac se ubica el otro predio cultivado con el sistema tradicional objeto de este estudio.

El sistema de cultivo asociado consiste en hileras de guaje separadas por 6 m y 5 m entre plantas; a 20 cm de cada planta de guaje se colocó una planta de pitahaya y entre las hileras de ambas especies, se establecieron dos hileras de pitayo con separación de 2 m entre hileras y 2 m entre plantas para una densidad de población de 340 plantas de guaje, 340 plantas de pitahaya y 1,280 plantas de pitaya por ha. Entre los cultivos desarrolla anualmente pasto y hierbas que son aprovechadas por animales en pastoreo controlado. La asignación de espacios para cada especie dentro del predio de cultivo se definió en función del vigor y tamaño que alcanza cada especie en su desarrollo natural y considerando la opción de aplicación de la poda como técnica para regular su crecimiento, evitar exceso de sombreado, facilitar la recolección e inducir y mejorar la producción.

La producción del guaje y la pitaya no se ven tan mermados con el abastecimiento de agua por el régimen de lluvias, sin embargo, la pitahaya sometido únicamente al régimen de lluvias disminuye considerablemente la emisión del número de botones florales por planta y propicia alto porcentaje de aborto de flores momentos después (una semana) de la floración. También el tamaño y la calidad del fruto son afectados por la disminución de humedad en la zona de raíces.

Por ello, para otorgar riegos de auxilio a la pitahaya después del periodo de lluvias, se incorporó un sistema de riego por goteo utilizando como fuente la captación del agua de lluvia en olla cubierta con plástico con capacidad para ochenta metros cúbicos.

La nutrición del cultivo se hace principalmente con humus de lombriz, para ello se construyeron dos canteros para la producción de lombricomposta con capacidad de dos toneladas cada uno. La composta es producida actualmente en la misma unidad productiva a partir de los residuos de cosecha y estiércol de ganado colectado en la población.

Antes de la plantación con el sistema de cultivo asociado, el predio estaba cubierto con vegetación natural propio de la selva baja caducifolia que prevalece en la región; para convertirlo de uso agrícola se desmontó, se cultivó un año con maíz criollo en monocultivo y al estar expuesto a la ganadería extensiva y a la

depredación de la cubierta vegetal por parte de animales en libre pastoreo, se optó por cercarlo con alambre de púas con el objetivo de evitar la tendencia de degradación y erosión que sigue a toda superficie que se apertura al cultivo en esa zona. De esta manera se protegió al predio y en febrero del 2004 se procedió a realizar las actividades de trazado, apertura de cepas, aplicación de composta, tratamiento, acondicionamiento de esquejes de la pitaya, producción de plantas de pitahaya y guaje en vivero y finalmente en junio del 2014, a la plantación de las tres especies en el predio bajo el concepto de sistema de cultivo asociado.

A partir de entonces, la plantación y el manejo del cultivo ha girado en torno a los principios del manejo sustentable aplicando los fundamentos y técnicas que permiten la mínima alteración del ambiente y la mínima dependencia de los insumos del exterior lo cual ha permitido que con el tiempo se adicionen o eliminen técnicas o elementos tendientes a equilibrar la funcionalidad del agroecosistema generándose al mismo tiempo un paquete tecnológico cuyo resultado de sustentabilidad sobre el predio de cultivo se pretende validar en el presente trabajo de investigación.

A cada perfil se le determinaron propiedades morfológicas como; profundidad efectiva; color, desarrollo del sistema radicular, contenido en gravas piedras y rocas; propiedades físicas como estructura, textura, densidad aparente, y propiedades químicas como pH, contenido de materia orgánica (MO) y carbonato de calcio (CaCO_3), bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na).

Los análisis químicos y físicos se realizaron mediante los procedimientos analíticos de rutina en el Laboratorio de Edafología del Departamento de Investigaciones en Ciencias Agrícolas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

El color del suelo se determinó por la Tabla de colores Munsell (1994), la estructura se realizó mediante observación directa en campo, lo mismo para otras variables como, desarrollo radicular y compactación; la densidad aparente se realizó con la toma de muestras con el método del cilindros, después en

laboratorio; contenido de materia orgánica, pH y carbonatos se determinaron en base a Norma Mexicana- 021-RECNAT-2000.

El conteo de las poblaciones microbianas se realizó sobre muestras tomadas en los primeros 10 cm de cada perfil de suelo; se cuantificaron bacterias mesofílicas aeróbicas, bacterias filamentosas (actinomicetos), bacterias Gram negativas, hongos y actividad de deshidrogenasas. En el predio donde se desarrolla cultivo asociado se tomó muestras de suelo en tres puntos y se les identificó como: CA 1a), CA 1b), CA 1c) En cuatro predios donde se practica el sistema de cultivo convencional se tomaron muestras de suelo en cada perfil, las muestras se identificaron de la siguiente forma: CT2, CT4, CT5, CT6.

De las muestras compuestas generadas a partir del material colectado en los primeros 10 cm de cada perfil, una porción de 0.5 kg., de cada muestra se colocó en bolsas de plástico con mecanismo sellador y se trasladaron al laboratorio de Microbiología de Suelos de la BUAP dentro de una hielera el mismo día de su recolección. Diez horas después de recolectadas las muestras se sembraron en los medios de cultivo.

Se empleó agar de soya y Tripticaseína (TSA) para bacterias mesófilas aeróbicas, Agar Mac Conkey para bacterias Gram negativas, Agar papa dextrosa (PDA) para hongos, agar Czapek dox (CZ) para actinomicetos. Para hacer posible el conteo de las unidades formadoras de colonias (ufc) se hicieron diluciones en serie del suelo hasta 10^{-6} .

Se determinó el número de unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias, actinomicetos y hongos, se obtuvo por duplicado en cada una de las muestras compuestas de suelo mediante la técnica de dilución seriada y vaciado en placa con medios selectivos.

Para determinar la cantidad de materia orgánica al suelo por residuos de cosecha de las plantas de guaje, se cuantificó en gramos el residuo de cosecha del corte de seis árboles elegidos al azar al momento de la cosecha; los residuos fueron pesados en verde y posteriormente se colocó en bolsas y se trasladó al laboratorio

de microbiología de la BUAP donde se sometió a secado a 60 grados centígrados en horno a temperatura controlada durante 8 horas.

Los datos de las variables del componente social se obtuvieron mediante encuestas que fueron aplicadas a los propietarios de las unidades productivas de los predios estudiados. También se cuantificó el número de jornales por ha ocupados durante el proceso productivo de cada sistema de cultivo.

Para determinar indicadores económicos se cuantificaron las variables ingresos y egresos en cada unidad productiva donde se realizaron los perfiles de suelo así como encuestas a las familias propietarias de las mismas.

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Propiedades y características de los suelos como indicadores ambientales.

Se estudia el suelo como componente ambiental; para ello se realizó la descripción y toma de muestras de un perfil de suelo en el predio donde se desarrolla el sistema de cultivo asociado (Guaje, pitaya y pitahaya); éste perfil se toma como referencia para compararlo con otros 5 perfiles estudiados (Descripción, toma de muestras, análisis de laboratorio de física, química y microbiología) en predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional (maíz, frijol asociado con guaje sin manejo).

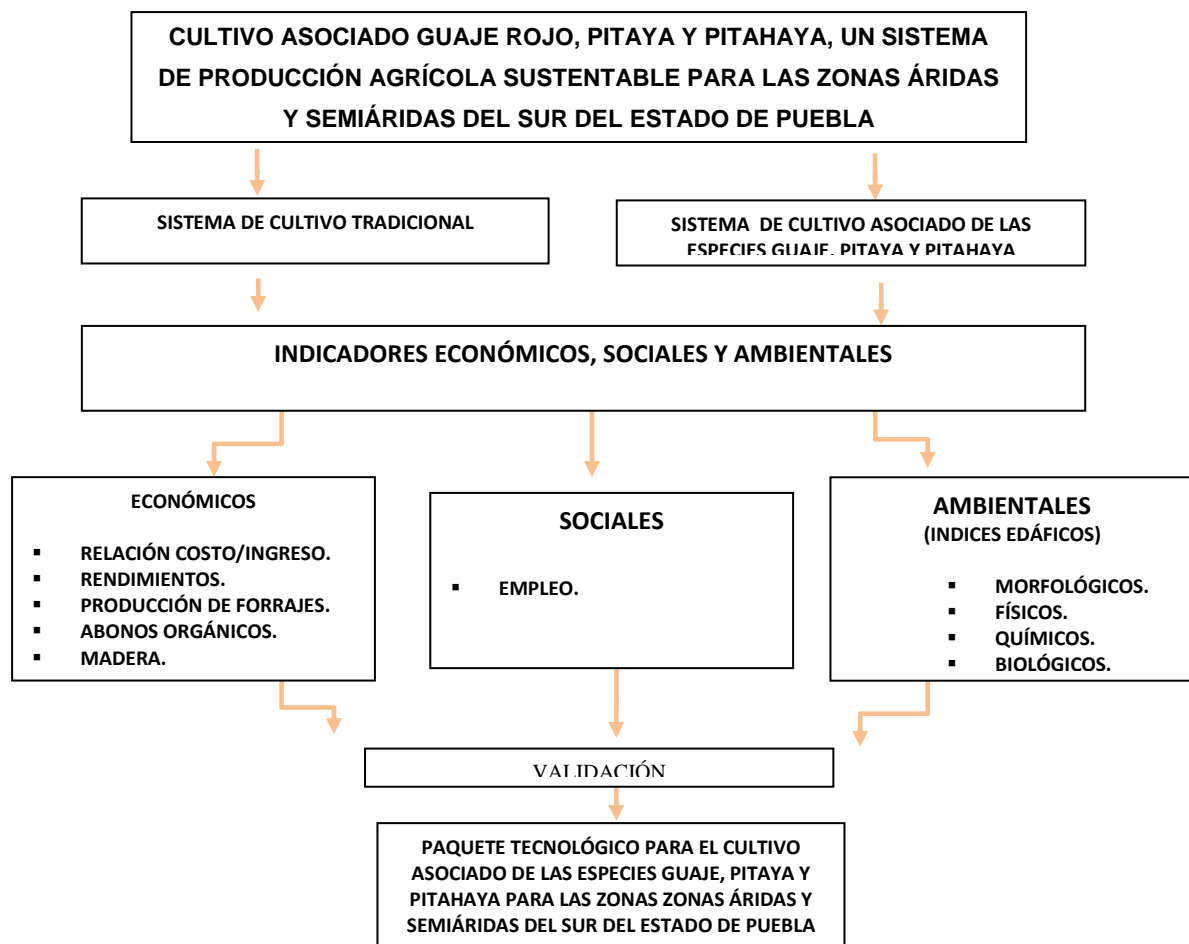


Figura 11. Diagrama metodológico

Se estudiaron parámetros morfológicos, físicos, químicos y biológicos con la finalidad de comparar el perfil SCA-1, descrito en el predio “El Llano” donde se practica el sistema de cultivo asociado (SCA) con sus similares ubicados en predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional; el objetivo es evaluar las propiedades del perfil de referencia (SCA-1), que es el perfil conservado, con las propiedades de los perfiles descritos en predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional y valorar los cambios producidos durante años de explotación sin manejo adecuado de suelos y cultivo. Los elementos estudiados y que son objeto de comparación, son, en primer lugar, las características o particularidades morfológicas; lo primero es comparar las profundidades de los perfiles, que es la calidad del suelo más apremiante (Rodríguez *et al*, 2009).

En la figura 12 se muestran los horizontes de cada perfil estudiado, el color verde es asignado a los horizontes del perfil de referencia (SCA-1) y el color café y azul a los perfiles descritos en predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional, blanco y punteado los horizontes que una vez tenían estos suelos y que fueron eliminados por la erosión; así, puede observarse como el perfil SCA-1 presenta un horizonte A de 10 cm de espesor y un B con 20 cm, es decir, tiene una profundidad efectiva de 30 cm; el perfil SCT-2, ubicado en la misma localidad de San Felipe Otlaltepec, a solo 2.5 km de distancia del predio con sistema de cultivo asociado, el perfil de suelo solo tiene 4 cm de espesor; es decir, someter a explotación agrícola un suelo sin tener en cuenta un manejo sustentable, sin cobertura y expuesto a las aguas de escorrentía favorece la pérdida de la capa superficial; y con ello, la pérdida de las propiedades agro-productivas que una vez fueron sustento de plantaciones agrícolas rentables; en los casos de los perfiles SCT-3, 4, 5, y 6 se han perdido los horizontes A y parte del B, a excepción del SCT-3; por lo que se considera grave la situación de pérdida de suelo que presentan los predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional.

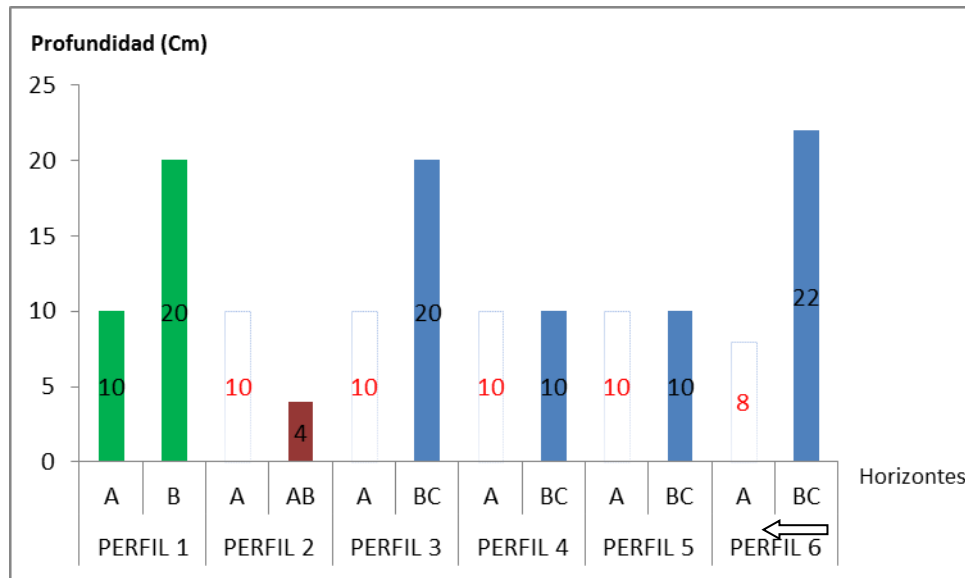


Figura 12.- Presencia y profundidad de los horizontes. Perfil 1 corresponde al predio con sistema de cultivo asociado guaje, pitaya y pitahaya (SCA), se conservan los dos horizontes y con mayor profundidad; perfiles 2, 3, 4, 5 y 6 corresponde a predios cultivados con el sistema de cultivo tradicional (SCT) y muestra que el horizonte A se ha perdido y la profundidad del perfil es menor.

El cambio de coloración de los suelos, tomando en cuenta la Munsell Soil Color Charts (1994); del perfil de referencia (SCA-1) presenta un color negro (10YR2/1) en el horizonte superficial (Figura 13), característica de suelos conservados y ricos en materia orgánica; mientras que en el resto de los perfiles descritos en los predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional, la coloración va desde pardo grisáceo oscuro (10YR4/2), en los perfiles SCT-3 y SCT-4 a pardo grisáceo (10YR5/2) en el perfil SCT-6, (Cuadros 4,6,8,10, 12) lo que refleja el grado de erosión y degradación de los suelos, que al estar expuestos a las inclemencias del clima se produce una pérdida de suelos por arrastre y con ello también se pierde parte de la materia orgánica y la que queda en la superficie es transformada por proceso de mineralización, lo que favorece la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, fundamentalmente CO₂.

La estructura en los horizontes superficiales de los suelos conservados, es granular o migajosa y en los horizontes intermedios y más profundos la estructura es cada vez más grande, pues los procesos edáficos aún no han actuado con la intensidad que en la superficie, donde la materia orgánica se incrementa por acumulación de restos de la vegetación y la fauna, cosa que favorece el desarrollo

y la actividad biológica, responsable de transformaciones morfológicas y físico-químicas, ausente en la parte baja del perfil. En el perfil SCA-1 la estructura es granular; en el perfil SCT-3 es subangular mediana y en el perfil SCT-6 es subangular; cuando se pierde la capa superficial del suelo, las estructuras más finas (Granular y migajosa) son las primeras en ser arrastradas. Como estos perfiles no son profundos por naturaleza genética, las diferencias estructurales aunque son menos marcadas, aparecen en la superficie de los suelos erosionados estructuras subangulares medianas y grandes en la superficie de los suelos donde antes se encontraban la estructura granular y migajosa. Con la porosidad y el desarrollo del sistema radicular, ambos muy ligados, se evidencia un comportamiento similar; el perfil SCA-1 tiene un sistema radicular desarrollado, con raíces finas y medias y es muy poroso; por su parte el SCT-2 tiene un sistema radicular poco desarrollado, aunque es muy poroso; el perfil SCT-3 posee un sistema radicular poco desarrollado y porosidad mediana; el perfil SCT-6 presenta sistema radicular medianamente desarrollado y porosidad mediana (Ver descripción de perfiles) . La reacción al HCl al 10% es un elemento a tomar en cuenta en la identificación de los tipos de suelos, los suelos conservados tienden a tener valores más bajos de carbonatos de calcio por efecto del lavado; cuando, los horizontes de superficie son eliminados o decapitados; se pierde la masa de suelo que ha sido lavada durante el proceso de formación y queda expuesta en la superficie el horizonte subyacente con valores elevados de carbonatos libres; de esta forma, la reacción del suelo en el caso del perfil SCA-1 es leve; mientras que en el resto de los perfiles descritos en predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional es violento al HCl. La reacción del suelo al HCl al 10% en SCT-2 es violenta y muy fuerte en los perfiles SCT-3, 4, 5 y 6 (Cuadros 2, 4, 6, 8, 10 y 12), por estar estos últimos afectados por la pérdida de suelo superficial y el suelo subyacente, rico en carbonatos aparece en la superficie. Los resultados en cuanto al incremento de la materia orgánica y la densidad aparente en los primeros 10 cm del perfil en el SCA mejoran la estructura del suelo y ello coincide con los resultados por Murray *et al.*, (2014).

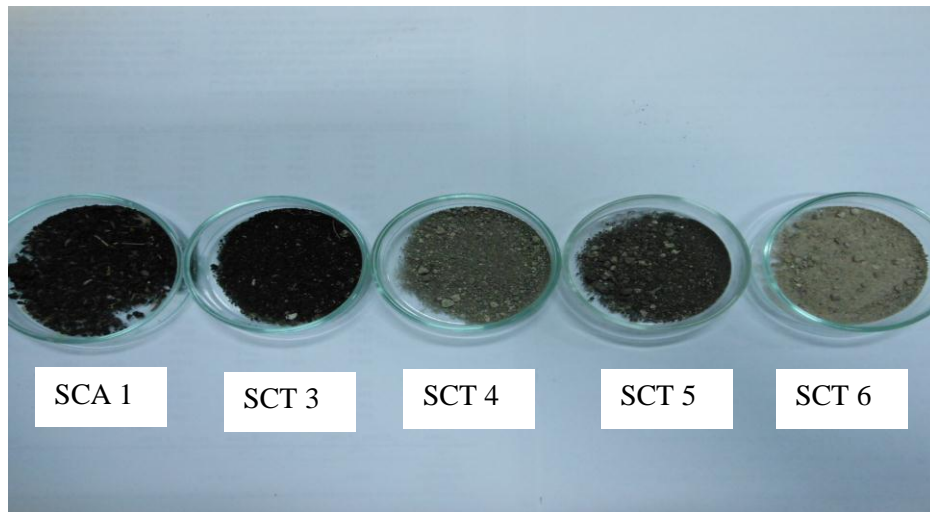


Figura 13. Caracterización del color de los suelos de los perfiles sistema de cultivo asociado (SCA) y sistema de cultivo tradicional (SCT). En Puebla, México. 2014.

Las texturas de los suelos estudiados muestran: que el horizonte B, del perfil SCA-1, tiene valores de 34% de arena, 22% de limo y 44% de arcilla; es decir, es un horizonte arcilloso; en el caso de perfiles descritos en los predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional; es para el perfil SCT-2, de 42% de arena y solo 22% de arcilla (Cuadros 1, 3, 5,7,9 y 11); en este caso se observa, que existe una pérdida importante de la fracción arcillosa por efectos de la erosión selectiva y/o por la pérdida de la masa de suelo de un 50% y como es lógico el contenido en las fracciones gruesas (arena) se enriquece relativamente por la pérdida de arcillas. Este horizonte AB (Cuadro 3) es realmente el antiguo horizonte B del perfil SCT-2, que en un momento determinado era el horizonte sub yacente del A; pero como éste suelo fue erosionado, el B, quedó en la superficie; no se sabe cuánto tiempo hace que este perfil se erosionó; sin embargo, fue el tiempo suficiente para que sobre el antiguo B se desarrollara una vegetación espontánea de pastos bajos y arbustos, que a través de sus raíces y hojas caídas incrementaron la materia orgánica y como consecuencia la actividad biológica y con ello la formación de un horizonte AB sobre el antiguo B; hoy este horizonte expuesto es afectado por la erosión hídrica y su composición textural, que debió ser similar al del perfil de referencia (SCA-1) ha perdido por los efectos de la erosión, parte de las fracciones arcillosas que son las más finas y livianas; este

enriquecimiento de las arenas descritos, es el mismo que se puede apreciar en el caso de los perfiles SCT-4, 5 y 6 (Cuadros 7, 9, y 11).

El contenido en gravas, piedras y rocas; el perfil SCA-1 tiene en el horizonte A un contenido en gravas de 5% y 5% en piedras; en el B, el contenido en gravas está entre 10-15% y el de piedras entre 5-10%, como es un suelo conservado, esta cantidad de gravas y piedras están repartidas en una masa de suelo de 30 cm de espesor, este es el caso del sistema de cultivo asociado, que mantiene una cobertura en un rango entre 80-100% (Ver descripción); sin embargo, en los predios con sistema de cultivo tradicional, donde los suelos no cuentan con una cobertura protectora eficiente, la erosión hace estragos, la pérdida de suelo hace que las gravas, piedras y rocas se reagrupen al perderse el suelo que las mantenía separadas; es el caso del perfil SCT- 2, tiene un contenido en gravas de 40%; 40% de piedras y 10% de rocas; el perfil SCT-4, tiene un 40% de gravas; 30% de piedras y 5% de rocas y el perfil SCT- 6, tiene 40% de gravas; 20% en piedras y 15% en rocas; la diferencia en el contenido en gravas, piedras y rocas es muy superior en los suelos de los predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional con respecto a del predio de referencia, es el efecto del manejo inadecuado de los suelos y de las plantaciones agrícolas que son explotadas sin tener en cuenta las condiciones del entorno; en la práctica, un incremento en gravas, piedras y rocas, hace que las labores culturales sean más difíciles y que además, las plantas no cuenten con un soporte adecuado.

Los contenidos en carbonatos total a través del perfil, para el caso de suelos calcáreos como los estudiados pueden reflejar la pérdida de los horizontes superficiales, caracterizados éstos por un lavado de los carbonatos libres y el ascenso de horizontes inferiores ricos en carbonatos, se presentan resultados de laboratorio del perfil SCA-1, donde los carbonatos en el horizonte A tienen valores de 4.4% y 5.2% en B; es el suelo de referencia, conservado que ha estado sometido a un lavado de las bases y carbonatos libres; en los cuadros 2, 4, 6, 8, 10 y 12, se reportan para los perfiles SCT- 2, 3, 4, 5 y 6 respectivamente, valores de carbonatos de 18.1%; 16.6%; 19.8%; 19.8% y 19.6%, en el mismo orden, estos resultados son uno de los efectos provocados por la pérdida de suelo superficial,

empobrecidos en carbonatos por lavado y la presencia en la superficie de horizontes ricos en carbonatos; es una demostración más de lo que puede perjudicar la explotación de los suelos sin tener en cuenta los lineamientos del Manejo Sustentable de Tierras (MST) (LADA, 2010 y (Rodríguez *et al*, 2011).

9.2 Caracterización del suelo en el sistema de cultivo asociado.

9.2.1 Descripción del perfil del Sistema de Cultivo Asociado 1 (SCA-1).

Predio ubicado en las coordenadas N: 18° 26" 10".1 y W: 097° 55' 04.9" a una altitud de 1847 m.s.n.m., propiedad del Sr. Daniel Domínguez Aguilar; con superficie de 2 hectáreas y pendiente menor del 5%. Este predio fue abierto al cultivo en el año 2003, fue retirado la vegetación original, compuesto por vegetación de selva baja caducifolia; el primer año se cultivó maíz, el siguiente año se plantó de manera asociada guaje, pitaya y pitahaya y a partir de entonces no se removió el suelo, para la nutrición de las plantas se aplicó humus con aportaciones complementarias de enmiendas a base de fertilizantes químicos. A diez años de plantación, presenta una cobertura vegetal apropiada que facilita la protección del suelo, evita la radiación directa de los rayos solares y el impacto directo de las precipitaciones sobre el suelo, esto favorece la estabilidad estructural, el lavado de las bases y carbonatos presentes en este tipo de suelos desarrollado sobre rocas calizas duras; todo esto contribuye a la conservación del suelo, algo que en esta parte de la zona de estudio constituye una excepción dado el grado de deterioro de los suelos en las áreas colindantes.

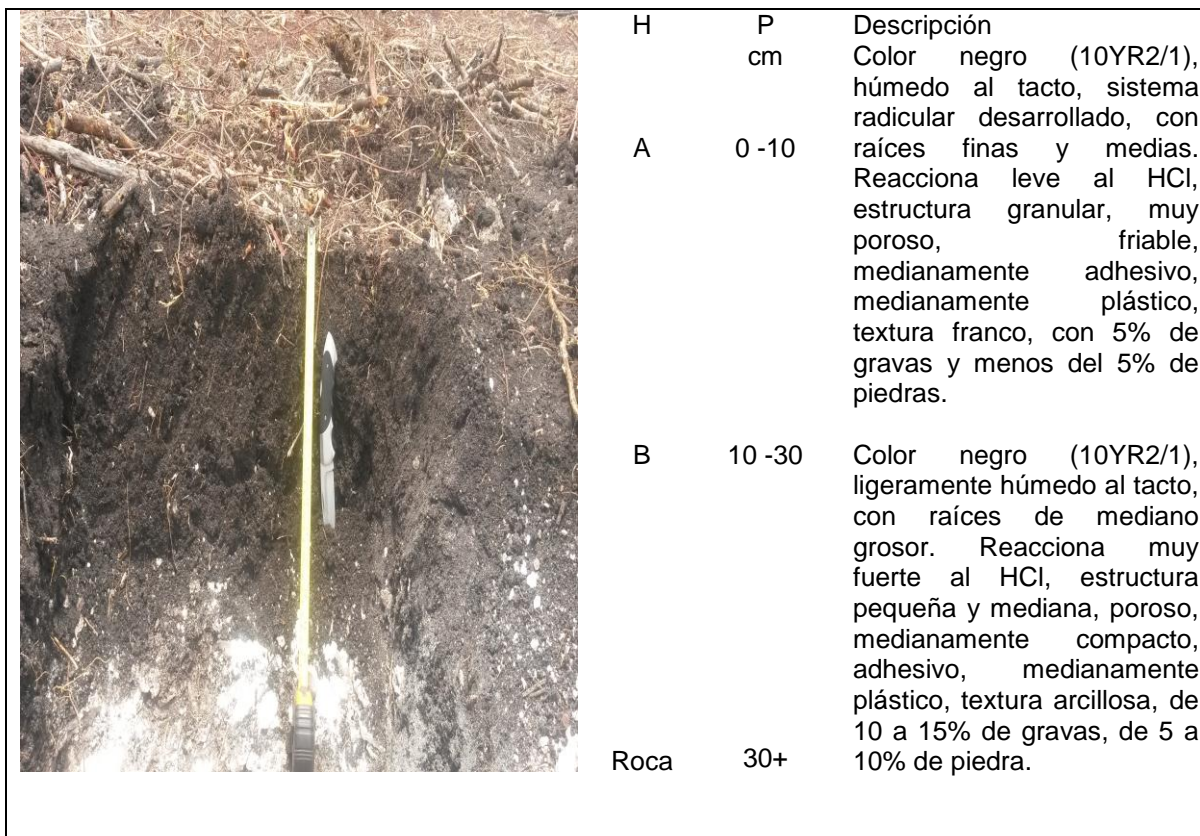


Figura 14. Perfil patrón SCA-1 ubicado en el paraje “El llano” en San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014. H (horizonte) y P (profundidad).

Cuadro 1. Propiedades físicas del perfil de suelo del sistema de cultivo asociado (SCA-1), en San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014.

| Horizonte | Prof. Cm | Color | | % de las fracciones | | | Clase Textural |
|-----------|----------|---------|---------|---------------------|------|---------|----------------|
| | | Seco | Húmedo | Arena | Limo | Arcilla | |
| A | 0-10 | 10YR2/2 | 10YR2/1 | 38.0 | 36.0 | 26.0 | Franco |
| B | 10-30 | 10YR3/1 | 10YR2/1 | 34.0 | 22.0 | 44.0 | Arcillosa |

Cuadro 2.- Propiedades químicas del perfil de suelo del sistema de cultivo asociado (SCA-1), en San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014.

| Horizonte | Prof. cm | M. O. | CaCO ₃ % | pH | | Bases cambiables (cmI/kg) | | | |
|-----------|----------|-------|---------------------|------------------|-----|---------------------------|-----|------|------|
| | | | | H ₂ O | KCl | Ca | Mg | K | Na |
| A | 0-10 | 5.3 | 4.4 | 7.5 | 6.9 | 92.8 | 5.0 | 0.25 | 0.36 |
| B | 10-30 | 5.0 | 5.2 | 7.5 | 7.0 | | 3.6 | 0.39 | 0.28 |



Figura 15. Paisaje del entorno del perfil SCA-1, predio “el llano” en San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014. H (horizonte) y P (profundidad).

9.3 Caracterización de los suelos en el sistema de cultivo tradicional.

9.3.1 Descripción del perfil del sistema de cultivo tradicional (SCT- 2)

El predio se localiza en las coordenadas N: 18° 24´ 59” W: 097° 54´ 31.4” a una altitud de 1873 m.s.n.m., a solo 2.5 km de distancia del paraje “El Llano” donde se encuentra el SCA. Es propiedad del Sr. Carmelo Flores; Tiene una superficie de una hectárea con pendiente del 5%. Contrario al perfil SCA-1; éste predio carece de una vegetación capaz de darle protección al suelo (Figura 17), la radiación solar y las precipitaciones inciden directamente sobre la superficie del suelo, lo cual favorece la mineralización de la materia orgánica, la destrucción de la estructura del suelo y el arrastre por las aguas de escorrentía a pesar que la pendiente del terreno, como en el caso anterior son menores del 5%.


| | | | |
|---|------|-----|---|
|  | H | P | Descripción Color negro (10YR2/1), húmedo al tacto, sistema radicular poco desarrollado, con raíces finas. Reacciona violentamente al HCl, estructura granular, muy poroso, friable, adhesivo, plástico, textura franco, contiene 40% de grava, 40% de piedras y 10% de rocas. |
| | AB | 0-4 | |
| | Roca | 4 + | Caliza |

Figura 16. Perfil SCT-2 ubicado en el paraje “El mezquite” del poblado de San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014. H (horizonte) y P (profundidad).



Figura 17. Paisaje del entorno del perfil SCT 2. Predio el “El mezquite” San Felipe Otlaltepec.

Cuadro 3. Propiedades físicas, perfil SCT-2., DICA. BUAP. 2014.

| Horizonte | Prof. Cm | Color | | % de las Fracciones | | | Clase Textural |
|-----------|----------|---------|---------|---------------------|------|---------|----------------|
| | | Seco | Húmedo | Arena | Limo | Arcilla | |
| AB | 0-4 | 10YR3/1 | 10YR2/1 | 42.0 | 34.0 | 22.0 | Franca |

Cuadro 4. Propiedades químicas, perfil SCT-2., DICA. BUAP. 2014.

| Horizonte | Prof. Cm | M.O. | CaCO ₃ % | Ph | | Bases cambiables (cml/kg) | | | |
|-----------|----------|------|---------------------|------------------|-----|---------------------------|-----|------|------|
| | | | | H ₂ O | KCl | Ca | Mg | K | Na |
| AB | 0-4 | 7.0 | 18.1 | 7.8 | 7.1 | | 5.0 | 0.82 | 0.38 |

9.3.2 Descripción perfil SCT-3

Este predio se ubica en las coordenadas N: 18° 44' 39.3" y W: 097° 54' 41.9" a una altitud de 1876 m.s.n.m., en la localidad de Molcaxac, Pue., es propiedad del Sr. Maurilio Castillo; tiene superficie de una hectárea, con pendiente menos del 3%. presenta características similares al del perfil SCA-2, en cuanto al tipo de cobertura, inclinación del terreno y de igual forma ha sido explotado de forma tradicional durante muchos años, cultivándose fundamentalmente maíz entre plantas de guaje sin manejo; de la misma forma, la radiación solar y las precipitaciones inciden directamente sobre la superficie del suelo.

| H | P (cm) | Descripción |
|------|--------|--|
| BC | 0-20 | Color pardo grisáceo oscuro (10YR4/2), húmedo al tacto, sistema radicular poco desarrollado, con raíces finas. Reacciona muy fuerte al HCl, estructura sub angular mediana, porosidad mediana, medianamente compacto, medianamente adhesivo, medianamente plástico, textura franco arcilloso, contiene de 5 - 10% de gravas y pedregoso en superficie. |
| Roca | 20 + | |

Figura 18. Perfil SCT-3 ubicado en la periferia norte del poblado de Molcaxac, Municipio de Molcaxac, Puebla. México. 2014. H (horizonte), P (profundidad).



Figura 19. Paisaje del entorno del perfil SCT 3. Predio ubicado en la periferia norte del poblado de Molcaxac, Puebla. México, 2014.

Cuadro 5. Propiedades físicas, perfil SCT-3.

| Horizonte | Prof. cm | Color | | % de las Fracciones | | | Clase Textural |
|-----------|----------|-----------|---------|---------------------|------|---------|------------------|
| | | Seco | Húmedo | Arena | Limo | Arcilla | |
| BC | 0-20 | 10YR4.5/1 | 10YR4/2 | 28.0 | 36.0 | 36.0 | Franco Arcillosa |
| Roca | 20+ | | | | | | |

Cuadro 6. Propiedades químicas, perfil SCT-3.

| Horizonte | Prof. Cm | M. O. | CaCO ₃ % | pH | | Bases cambiables | | | |
|-----------|----------|-------|---------------------|------------------|-----|------------------|------|------|------|
| | | | | H ₂ O | KCl | Ca | Mg | K | Na |
| BC | 0-20 | 5.0 | 16.6 | 7.8 | 7.4 | | 17.9 | 0.74 | 0.37 |
| Roca | 20+ | | | | | | | | |

9.3.3 Descripción perfil SCT-4

Predio ubicado en las coordenadas N: 18° 24' 06.6" W: 097° 53' 57.7" a una altitud de 1926 m.s.n.m., Es propiedad del Sr. Agustín Gámez, tiene superficie de una hectárea, con pendiente del 5%. Ha sido cultivado con maíz, frijol y en ocasiones maíz asociado con frijol de forma tradicional y entre plantas de guaje durante muchos años. Predio que aunque está en ladera, su pendiente es mínima debido a la construcción de barreras de retención con piedras lo que le ha permitido tomar la forma de terraza y evitar la pérdida de suelo. No se le agrega materia orgánica por lo que su coloración es pardo grisáceo oscuro que deja visualizar su genética de material parental de rocas calizas. La superficie de suelo está descubierta puesto que los restos de cosecha son retirados para alimento de animales de carga domésticos y el escaso material que queda como residuo es depredado por los animales de libre pastoreo dejando al suelo expuesto a la radiación solar, a la acción de los vientos así como al golpeteo de las gotas de lluvia en la época de lluvias.


|  | Horizonte | Profundidad (cm) | Descripción |
|---|-----------|---|-------------|
| BC | 0 -10 | Color pardo grisáceo oscuro (10YR4/2), húmedo al tacto, sistema radicular desarrollado, con raíces finas y medias. Reacciona muy fuerte al HCl, estructura granular, muy poroso, friable, medianamente adhesivo, ligeramente plástico, textura franco arcilloso, contiene 60% de gravas, 30% de piedras y 5% de rocas. Contiene 7.7% de MO. | |
| Roca | 10 + | | |

Figura 20. Perfil SCT-4 ubicado en el paraje “Cerro Coyotepec” del poblado de San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014. H (horizonte) y P (profundidad).



Figura 21.- Paisaje del entorno del perfil SCT 4. Predio el “Cerro de coyotepec” San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. Mayo 2014.

Cuadro 7. Propiedades físicas, perfil SCA-4.

| Horizonte | Prof. cm | Color | | % de las Fracciones | | | Clase Textural |
|-----------|----------|---------|---------|---------------------|------|---------|------------------|
| | | Seco | Húmedo | Arena | Limo | Arcilla | |
| Ap | 0-10 | 10YR5/1 | 10YR4/2 | 40.0 | 26.0 | 34.0 | Franco Arcillosa |

Cuadro 8. Propiedades químicas, perfil SCA-4.

| Horizonte | Prof. cm | M.O. | CaCO ₃ % eq | pH | | Bases cambiables | | | |
|-----------|----------|------|------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|------|
| | | | | H ₂ O | KCl | Ca | Mg | K | Na |
| Ap | 0-10 | 7.7 | 19.8 | 7.7 | 7.5 | - | 4.2 | 0.65 | 0.26 |

9.3.4 Descripción perfil SCT-5

Predio ubicado en las coordenadas N: 18° 24' 06.6" W: 097° 53' 57.7" a una altitud de 1840 m.s.n.m. propiedad del Sr. Adrián Castillo, con superficie de una hectárea, pendiente del 5%. que ha sido cultivado con maíz, frijol y en ocasiones maíz asociado con frijol de forma tradicional y entre plantas de guaje durante

muchos años. Predio que aunque está en ladera, su pendiente es mínima debido a la construcción de barreras de retención con piedras lo que le ha permitido tomar la forma de terraza y evitar la pérdida de suelo. No se le agrega materia orgánica por lo que su coloración es pardo grisáceo oscuro que deja visualizar la genética de su material parental de rocas calizas. La superficie de suelo está descubierto puesto que los restos de cosecha son retirados para alimento de animales de carga domésticos y el escaso material que queda como residuo es depredado por los animales de libre pastoreo dejando al suelo expuesto a la radiación solar, a la acción de los vientos así como al golpeteo de las gotas de lluvia en la época de lluvias.


| | | | |
|--|------|-----------|--|
|  | H | P (cm) | Descripción |
| | BC | 0-10 | Color pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2), húmedo al tacto, sistema radicular medio desarrollado, con raíces finas. Reacciona muy fuerte al HCl, estructura granular, muy poroso, consistencia friable, medianamente adhesivo, medianamente plástico, textura franco, con grava de caliza sobre la superficie. |
| | Roca | 10 + | |

Figura 22. Perfil SCT-5 en el paraje “Nanche” del poblado de San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014. H (horizonte) y P (profundidad).

Cuadro 9. Propiedades físicas, perfil SCA-5.

| Horizonte | Prof. cm | Color | | % de las Fracciones | | | Clase Textural |
|-----------|----------|---------|---------|---------------------|------|---------|----------------|
| | | Seco | Húmedo | Arena | Limo | Arcilla | |
| BC | 0-10 | 10YR4/1 | 10YR3/2 | 44.0 | 30.0 | 26.0 | Franca |

Cuadro 10. Propiedades químicas, perfil SCA-5.

| Horizonte | Prof. cm | M.O. | CaCO ₃ % eq | pH | | Bases cambiables | | | |
|-----------|----------|------|------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|------|
| | | | | H ₂ O | KCl | Ca | Mg | K | Na |
| BC | 0-10 | 5.3 | 19.8 | 7.7 | 7.5 | - | 3.6 | 0.53 | 0.30 |



Figura 23. Paisaje del perfil SCT 5. Predio el “El nanche”, San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. Junio 2014.

9.3.5 Descripción perfil SCT-6

Predio ubicado en las coordenadas N: 18° 24' 43.3" W: 097° 55' 06.6" a una altitud de 1822 m.s.n.m. propiedad del Sr. Felipe Domínguez Hernández con superficie de una hectárea, con pendiente menor del 5% que ha sido cultivado con maíz, frijol y en ocasiones maíz asociado con frijol de forma tradicional y entre plantas de guaje durante muchos años. No se le agrega materia orgánica por lo que su coloración es pardo grisáceo que deja visualizar la genética de su material parental de rocas calizas. La superficie de suelo está descubierto puesto que los restos de cosecha son retirados para alimento de animales de carga domésticos y el escaso material que queda como residuo es depredado por los animales de libre pastoreo dejando al suelo expuesto a la radiación solar, a la acción de los

vientos así como al golpeteo de las gotas de lluvia en la época de lluvias. Presenta gran cantidad de piedras fragmentadas sobre la superficie.


| | | | |
|---|-----------|------------------|--|
|  | Horizonte | Profundidad (cm) | Descripción |
| | BC | 0-22 | Color pardo grisáceo (10YR5/2), húmedo al tacto, contenido de MO menor del 3%, sistema radicular medio desarrollado, con raíces finas. Reacciona muy fuerte al HCl, estructura subangular, medianamente poroso, consistencia compacto, poco adhesivo, ligeramente plástico, textura arcillosa, contiene 40% de grava, 20% de piedra y 15% de roca. |
| | C | 22 + | |

Figura 24. Perfil SCT-6 ubicado en el paraje “Maroma” del poblado de San Felipe Otlaltepec, Puebla, México. 2014. H (horizonte) y P (profundidad).

Cuadro 11. Propiedades físicas, perfil SCA-6.

| Horizonte | Prof. cm | Color | | da | % de las Fracciones | | | Clase Textural |
|-----------|----------|-----------|---------|----|---------------------|------|---------|----------------|
| | | Seco | Húmedo | | Arena | Limo | Arcilla | |
| BC | 0-22 | 10YR6.5/1 | 10YR5/2 | | 28.0 | 28.0 | 44.0 | Arcillosa |

Cuadro 12. Propiedades químicas, perfil SCA-6.

| Horizonte | Prof. cm | M. O. | CaCO ₃ % eq | pH | | Bases cambiables | | | |
|-----------|----------|-------|------------------------|------------------|-----|------------------|-----|------|------|
| | | | | H ₂ O | KCl | Ca | Mg | K | Na |
| BC | 0-22 | 1.4 | 19.6 | 7.8 | 7.6 | x | 3.0 | 0.77 | 0.26 |



Figura 25. Paisaje del entorno del perfil SCT 6. Predio “Maroma”, San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. Junio 2014.

9.4 Determinación de la densidad aparente del suelo

La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en el suelo, es un índice de la compactación de los horizontes y facilidad de circulación de agua y aire en el suelo; está directamente relacionada con la estructura y el tipo de partículas predominantes, ya sean materia orgánica, arcillas, arenas, limo que tienen un peso específico diferente.

En los Cuadros 13, 15 y 16, se expresan todas las anotaciones y cálculos realizados para determinar la densidad aparente de los suelos, una vez que las muestras fueron tomadas en el campo, utilizando cilindros metálicos, se realizaron las determinaciones para la densidad aparente (d) en tres de los suelos estudiados (SCA-1, SCT-2 y SCT-3); el comportamiento resulta interesante a pesar que los resultados presentados ocupan las categorías más bajas; en las muestras del perfil SCA-1, que es el perfil de referencia, se determinó la densidad aparente en tres capas; en el horizonte A, la capa de 0 a 10 cm de espesor, los valores de la densidad son los más bajos entre todas las muestras analizadas, van de 0.74 a 0.77 g/cm³, (Cuadro 13) considerada muy baja, si tenemos en cuenta los

rangos de valores de esta variable para la generalidad de los suelos del mundo según Jiménez, (2010), como se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 13. Anotaciones y cálculos, perfil SCA-1. Descrito y muestreado en San Felipe Otlaltepec, municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla. México. 2014.

| Perfil | Prof. (cm) | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|--------|------------|------------------------|-------------------|--------|----------------------------------|----------------------------------|--------|-------|----------------|------------------------|
| | | Peso de la muestra (g) | Peso de rocas (g) | A - B | Volumen total (cm ³) | Vol. de rocas (cm ³) | D - E | W (%) | Suelo seco (g) | d (g/cm ³) |
| SCA-1 | 0 - 10 | 264.76 | 0 | 264.76 | 259.49 | 0 | 259.49 | 33.26 | 198.68 | 0.76 |
| | 0 - 10 | 251.21 | 0 | 251.21 | 259.49 | 0 | 259.49 | 29.95 | 193.31 | 0.74 |
| | 0 - 10 | 264.26 | 0 | 264.26 | 259.49 | 0 | 259.49 | 32.18 | 199.92 | 0.77 |
| | 10 - 20 | 311.06 | 40.09 | 270.97 | 259.49 | 16.00 | 243.49 | 22.58 | 221.05 | 0.90 |
| | 10 - 20 | 297.61 | 34.38 | 263.23 | 259.49 | 18.38 | 241.52 | 24.56 | 211.32 | 0.87 |
| | 10 - 20 | 301.11 | 0 | 301.11 | 259.49 | 0 | 259.49 | 26.52 | 238.00 | 0.92 |
| | 20 - 30 | 326.61 | 0 | 326.61 | 259.49 | 0 | 259.49 | 27.28 | 256.61 | 0.99 |
| | 20 - 30 | 309.71 | 18.26 | 291.45 | 259.49 | 9.22 | 250.27 | 24.69 | 233.74 | 0.93 |
| | 20 - 30 | 319.31 | 0 | 319.31 | 259.49 | 0 | 259.49 | 26.65 | 252.12 | 0.97 |

Estos valores muy bajos se deben a la acumulación de humus y de materia orgánica en diferentes estados de descomposición, en el horizonte A; proceso favorecido, sobre todo en este perfil por el estado de conservación a causa de estar bajo una cobertura vegetal que propicia la formación y acumulación del humus y la materia orgánica; indicador muy tenido en cuenta en el Manejo Sustentable de las Tierras (MST) por parte de los usuarios de ésta (Programa de desarrollo de las Naciones Unidas en Cuba, 2009).

Estos resultados son similares a los reportados por Ticante (2000) en suelos de la Sierra Norte de Puebla.

Cuadro 14. Rangos para la clasificación de la densidad de los suelos.

| Rango de valores ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | Categoría |
|--|-----------------|
| < 0.90 | Muy baja |
| 0.91 – 1.05 | Baja |
| 1.06 – 1.15 | De baja a media |
| 1.16 – 1.25 | De media a alta |
| 1.26 – 1.40 | Alta |
| > 1.40 | Muy alta |

Tomado de Jiménez, (2010).

En la Figura 15. Se muestra una imagen satelital de la cobertura vegetal en el sitio de descripción del perfil SCA-1, ocupado por una plantación de cultivo asociado de guaje, pitaya y pitahaya en San Felipe Otlaltepec, municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla; en esta imagen, se puede apreciar el porcentaje de cubrimiento en el predio donde se practica el cultivo asociado de guaje, pitaya y pitahaya con un rango de 80 al 100% de cubrimiento, ver planillas de descripción de suelos en el anexo.



Figura 26. Detalles de cobertura vegetal y entorno en el perfil SCA-1, con un rango de la cobertura vegetal entre 80-100%. Predio “El llano” San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

En la primera capa del horizonte B, perfil SCA-1, tomada de 10-20 cm, los valores de la densidad están entre 0.87 a 0.92 g/cm³ (Cuadro 13) está también considerado como muy baja (Cuadro 14); por otra parte, en el mismo horizonte, en la capa de 20 a 30 cm, el rango del valor de la densidad esta entre 0.93 a 0.99 g/cm³), es decir, este valor está comprendido en el rango de baja; para que un suelo como éste, se mantenga con valores de la densidad aparente en los horizontes inferiores a la unidad se requieren condiciones excepcionales de un sitio como el descrito en el predio El Llano; conservado; protegido del accionar de las inclemencias climáticas (precipitaciones e insolación fundamentalmente); un aporte continuo de materia orgánica; buena estructura y porosidad, estas condiciones favorecen la actividad biológica, la transformación de la materia orgánica en humus y su traslado a través del perfil, lo cual influye en los valores bajos de la densidad aparente en la parte baja del suelo, claro que la profundidad efectiva juega un papel también determinante.

Mientras que en el perfil SCT-2, esta apenas en el rango de 0-20% (ver anexo), además, se puede comprobar claramente en la Figura 16 , donde se presenta otra imagen satelital, del área de descripción en el perfil SCT-2, sin manejo adecuado y afectado por la erosión.



Figura 27. Ubicación del perfil SCT-2 (MSCA 2), el porcentaje de la cobertura vegetal está entre 0-20%. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

En el caso del perfil SCT-2, los valores de la densidad aparente (Cuadro 15) son también muy bajos, es un suelo descrito en un predio donde se practica el sistema de cultivo tradicional, es un suelo erosionado, que apenas tiene 4 cm de espesor, solo de forma excepcional, en algunas partes del predio la profundidad puede llegar hasta los 10 cm; sin embargo, al parecer la poca profundidad favorece que la vegetación espontánea y de pastos bajos que se desarrolla en la época de lluvia incrementa los valores de la materia orgánica, esta puede ser la causa de los valores bajos de la densidad aparente.

Cuadro 15. Anotaciones y cálculos, perfil SCT-2. Descrito y muestreado en San Felipe Otlaltepec, municipio de Tepexi de Rodríguez Puebla.

| Perfil | Prof. (cm) | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|--------|------------|------------------------|-------------------|--------|----------------------------------|----------------------------------|--------|-------|----------------|------------------------|
| | | Peso de la muestra (g) | Peso de rocas (g) | A - B | Volumen total (cm ³) | Vol. de rocas (cm ³) | D - E | W (%) | Suelo seco (g) | d (g/cm ³) |
| SCT-2 | 0 - 10 | 300.68 | 59.60 | 241.06 | 259.49 | 31.00 | 228.49 | 20.02 | 200.85 | 0.88 |
| | 0 - 10 | 282.26 | 36.65 | 245.61 | 259.49 | 19.81 | 239.68 | 20.11 | 204.48 | 0.85 |
| | 0 - 10 | 281.27 | 42.48 | 238.78 | 259.49 | 26.00 | 233.49 | 19.51 | 200.00 | 0.86 |

En la Figura 17 se puede apreciar la distancia y las condiciones que presenta la cobertura vegetal en la zona de San Felipe Otlaltepec; la mayoría de los predios no cuentan con una cobertura vegetal capaz de proteger los suelos dedicados a la explotación de cultivos tradicionales; en este entorno, marcado por la degradación y la falta de una cobertura vegetal adecuada, sobresale, por su estado de conservación y porcentaje de cubrimiento vegetal, el predio donde se practica el sistema de cultivo asociado donde se describió el perfil SCA-1, que aparece en la imagen como MSCA 1.

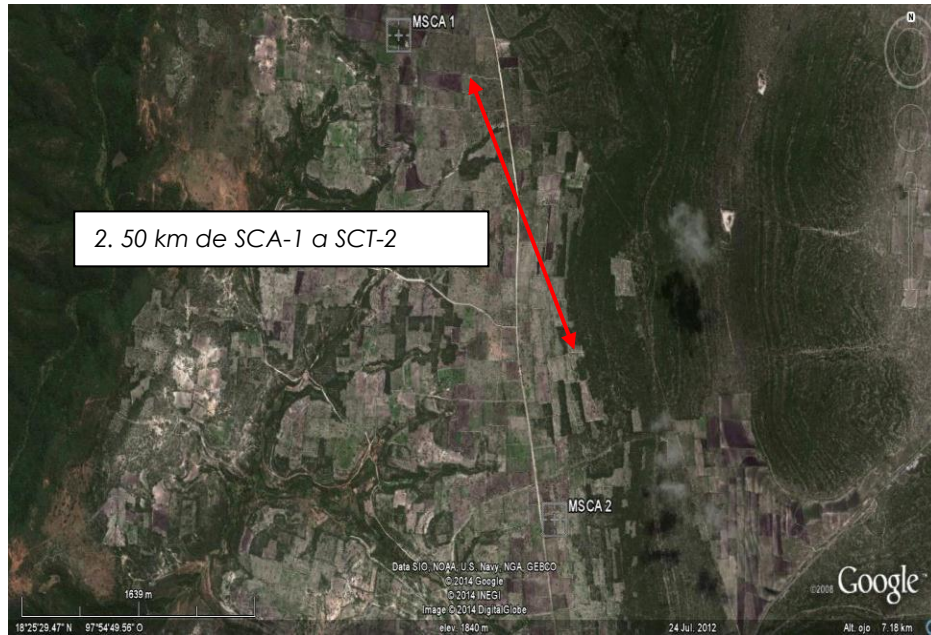


Figura 28.- Área y distancia entre los perfiles SCA-1 y SCT-2, aproximadamente 2.5 km. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

Los resultados de las muestras analizadas del perfil SCT-3 localizado en municipio de Molcaxac, Figuras 19 y 20, en la localidad del mismo nombre, se puede apreciar el nivel de degradación o falta de cobertura vegetal en la zona; sin embargo, el sitio donde se describió el perfil 3 está cubierto por una vegetación anual de hojas anchas y de porte muy bajo con un porcentaje de cubrimiento que está en un rango entre 40 a 60%, lo que puede explicar el alto contenido en materia orgánica y la baja densidad aparente en este suelo, con un promedio de 0.98 g/cm^3 en la capa de 0 a 10 cm y de 0.97 g/cm^3 (Cuadro 18) en la capa de 10 a 20, a pesar de tener un horizonte BC de solo 20 cm de espesor de suelo.

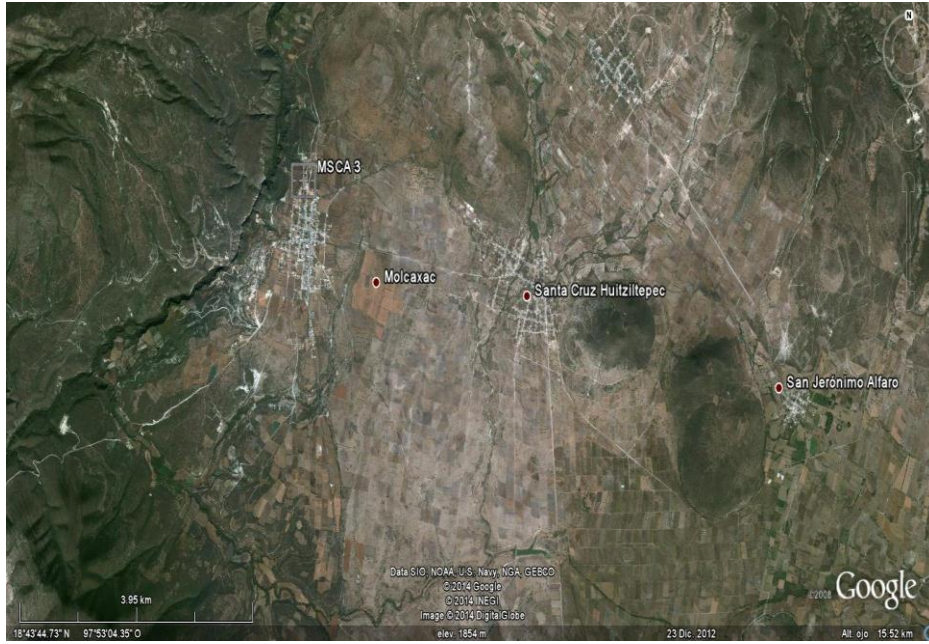


Figura 29. Localización del perfil SCT-3 (MSCA 3) en el municipio de Molcaxac, Puebla, México 2014.



Figura 30. Predio donde se describió el perfil SCT-3, nótese que el área en cuestión presenta cierto grado de cubrimiento vegetal. Molcaxac; Puebla México 2014.

Cuadro 16. Anotaciones y cálculos, perfil SCT-3. Descrito y muestreado en San Felipe Otlaltepec, municipio de Tepexi de Rodríguez Puebla.

| Perfil | Prof. (cm) | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|-----------|------------|------------------------|-------------------|--------|----------------------------------|----------------------------------|--------|-------|----------------|------------------------|
| | | Peso de la muestra (g) | Peso de rocas (g) | A - B | Volumen total (cm ³) | Vol. de rocas (cm ³) | D - E | W (%) | Suelo seco (g) | d (g/cm ³) |
| SCT -3 | 0 - 10 | 295.26 | 14.61 | 280.65 | 259.49 | 7.90 | 251.59 | 15.68 | 242.61 | 0.96 |
| | 0 - 10 | 293.01 | 19.73 | 273.28 | 259.49 | 10.50 | 248.99 | 13.03 | 241.78 | 0.97 |
| | 0 - 10 | 303.36 | 11.25 | 292.11 | 259.49 | 4.00 | 255.49 | 14.01 | 256.21 | 1.00 |
| | 10 - 20 | 313.95 | 0 | 313.95 | 259.49 | 0 | 259.49 | 19.08 | 263.65 | 1.02 |
| | 10 - 20 | 309.36 | 36.94 | 272.42 | 259.49 | 18.02 | 241.47 | 19.47 | 228.02 | 0.94 |
| | 10 - 20 | 309.05 | 40.38 | 269.12 | 259.49 | 20.71 | 238.78 | 19.28 | 225.62 | 0.94 |

Significado de las columnas de los cuadros 13,15 y 16.

A: Peso total de las muestras, tomadas con los cilindros en el campo.

B: Peso de las rocas extraídas de cada muestra.

C: Peso neto de suelo, una vez restado el peso de las rocas.

D: Volumen de los cilindros, con los cuales se tomaron las muestras en el campo (uniforme).

E: volumen de las rocas extraídas de las muestras.

F: volumen neto de suelo, una vez restado el volumen de las rocas.

G: humedad de las muestras, en el momento de ser tomadas. Se determinó en laboratorio (Cuadros 13 y 15).

H: peso de suelo seco, calculado a partir de C y G (Ecuación 1).

I: densidad aparente de las muestras (d) en g * cm⁻³ (g / cm³) o Mg * m⁻³ (t / m³).
Ecuación 2.

NOTA: Todos los pesos en las columnas del cuadro se dan en gramos (g) y el volumen en cm³

$$1 \text{ g} * \text{cm}^{-3} = 1 \text{ mg} * \text{m}^{-3} = 1 \text{ t} * \text{m}^{-3}$$

Para calcular el peso de suelo seco se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Peso de suelo seco (H)} = \frac{C * 100}{100 + G} \text{ (g)} \quad \boxed{\text{Ecuación 1}}$$

La densidad aparente es igual al peso de suelo seco (H) entre el volumen neto de la muestra (F).

Lo que se ha visto hasta aquí, es que, en el predio donde se practica el Sistema de Cultivo Asociado, las condiciones del suelo son superiores a aquellos donde se practica el Sistema de Cultivo Tradicional; sin embargo, los valores bajos de la densidad aparente en los suelos erosionados se ha explicado por diversas causas; este comportamiento está determinado por una serie de factores, entre los cuales sobresale la rápida regeneración de la vegetación en la capa superior del suelo que es en la mayoría de los casos poco profunda y esto favorece que se concentre en menor espacio los contenidos de raíces y la acumulación de materia orgánica y su transformación; además, también pueden influir en el mejoramiento de la estructura, lo que a su vez facilita la alta porosidad.

9.5 Contenidos de humedad del suelo

En el Cuadro 17 se dan los datos con los cuales fue determinada la humedad que contenían las muestras, en el momento en que estas fueron tomadas.

Con relación a los contenidos de humedad, el mayor interés es la distribución de ésta a través de los horizontes. Esta distribución, para el caso del perfil SCA-1, que es el perfil de referencia, con valores de la humedad en la capa de 0-10 cm de 33.26 %, 29.95% y 32.18% en las tres repeticiones para un promedio de 31.80% de humedad (W); mientras que en la capa de 10 a 20 cm, el promedio de humedad es de 24.55% (W) y en la capa de 20 a 30 cm el promedio de humedad es de 26.21 (Cuadro 17); esta distribución puede indicar la ocurrencia de una lluvia ligera (< 10 mm), el día anterior a la toma de muestras, lo cual como indican los valores de la humedad es suficiente para humedecer la parte superior del suelo, pero sin penetrar hacia los horizontes inferiores. La importancia de este humedecimiento consiste en que frena la ascensión capilar y el agua es mejor

aprovechada por el cultivo, lo que se facilita por el buen estado de conservación en que se encuentra este suelo y la existencia de una cobertura vegetal adecuada. Sin embargo, en el perfil SCT-2, muy degradado y a sólo 2.50 km del perfil anterior, la humedad es muy baja, de sólo 19.88% como promedio de las tres repeticiones; lo cual está relacionado con el bajo aprovechamiento del agua de lluvia y su rápida evaporación por falta de una cobertura vegetal de la superficie que evite la evaporación; este problema también se presenta en el perfil SCT-3, donde, la humedad promedio es apenas del 14.24%.

Cuadro 17. Determinación de la humedad

| Perfil | Prof. (cm) | A Peso PF + muestra húmeda (g) | B Peso PF + muestra seca en estufa (g) | C Peso de PF (g) | D W (%) |
|---------|------------|---|---|---------------------|------------|
| SCA - 1 | 0 – 10 | 29.19 | 22.80 | 3.59 | 33.26 |
| | 0 – 10 | 39.21 | 31.00 | 3.59 | 29.95 |
| | 0 – 10 | 30.89 | 24.18 | 3.60 | 32.18 |
| | 10 – 20 | 41.50 | 34.52 | 3.61 | 22.58 |
| | 10 – 20 | 73.12 | 60.36 | 8.52 | 24.56 |
| | 10 – 20 | 70.00 | 57.39 | 8.40 | 26.52 |
| | 20 – 30 | 80.30 | 64.90 | 8.46 | 27.28 |
| SCT - 2 | 20 – 30 | 67.47 | 55.79 | 8.49 | 24.69 |
| | 20 – 30 | 76.55 | 62.20 | 8.34 | 26.65 |
| | 0 – 10 | 62.73 | 53.75 | 8.90 | 20.02 |
| | 0 – 10 | 69.31 | 59.13 | 8.50 | 20.11 |
| SCT - 3 | 0 – 10 | 59.69 | 51.32 | 8.42 | 19.51 |
| | 0 – 10 | 39.28 | 34.38 | 3.54 | 15.68 |
| | 0 – 10 | 39.66 | 35.50 | 3.57 | 13.03 |
| | 0 – 10 | 40.67 | 36.12 | 3.65 | 14.01 |
| SCT - 3 | 10 – 20 | 69.94 | 60.09 | 8.46 | 19.08 |
| | 10 – 20 | 77.39 | 66.30 | 8.71 | 19.47 |
| | 10 – 20 | 68.28 | 58.62 | 8.53 | 19.28 |

NOTA: A: peso del recipiente o pesafiltro (PF) más el peso de una porción de la muestra, con la humedad del momento en que fue tomada en el campo; B: peso del pesafiltro (PF) más el peso de la muestra, después que esta ha sido secada en estufa, a 105°C, durante 8 horas o más; C: peso del recipiente o pesafiltro (PF); D: humedad que contiene la muestra, expresada en %. El valor W (%) se calcula según la siguiente ecuación:

$$W (\%) = \frac{A - B}{B - C} * 100$$

Ecuación 2

Cuadro 18. Resumen de los datos de densidad aparente (*d*) y humedad del suelo (*W* %)

| Perfil | Prof. (cm) | A Densidad aparente (<i>d</i>) en g * cm ⁻³ | B Valor medio de <i>d</i> por profundidades | C Humedad (<i>W</i>) en % | D Valor medio de <i>W</i> por profundidades | | |
|----------|------------|---|--|--------------------------------|--|-------|-------|
| MSCA - 1 | 0 - 10 | 0.76 | 0.76 | 33.26 | 31.80 | | |
| | 0 - 10 | 0.74 | | 29.95 | | | |
| | 0 - 10 | 0.77 | | 32.18 | | | |
| | 10 - 20 | 0.90 | 0.90 | 22.58 | | | |
| | 10 - 20 | 0.87 | | 24.56 | | | |
| | 10 - 20 | 0.92 | | 26.52 | | | |
| | 20 - 30 | 0.99 | | 27.28 | | | |
| | MSCA - 2 | 20 - 30 | 0.93 | 0.96 | | 24.69 | 26.21 |
| | | 20 - 30 | 0.97 | | | 26.65 | |
| | | 0 - 10 | 0.88 | 0.86 | | 20.02 | |
| 0 - 10 | | 0.85 | 20.11 | | | | |
| 0 - 10 | | 0.86 | 19.51 | | | | |
| 0 - 10 | | 0.96 | 15.68 | | | | |
| 0 - 10 | | 0.97 | 13.03 | | | | |
| MSCA - 3 | | 0 - 10 | 1.00 | | 0.97 | 14.01 | |
| | 10 - 20 | 1.02 | 19.08 | | | | |
| | 10 - 20 | 0.94 | 19.47 | | | | |
| | 10 - 20 | 0.94 | 19.28 | | | | |

9.6 Actividad biológica en los suelos.

En el perfil de referencia SCA-1 muestreado; con buen desarrollo radicular, buena estructura y contenido elevado de materia orgánica, las bacterias y actinomicetos encuentran las condiciones propicias para su desarrollo y es probable que hagan competencia a los hongos; es por ello, que el número de colonias de hongos en las muestras de suelos del predio “El Llano”, donde se emplea el sistema de cultivo asociado, es menor que el número de colonias de bacterias y actinomicetos, Cuadro 19.

En el cuadro 19, Se observa que la mayor cantidad de colonias de hongos desarrollaron en el medio de cultivo de la muestra del perfil SCT 6 (Figura 32) sin

embargo, en la Figura 34 se observa que la diversidad de tipos de hongos es mucho mayor en la muestra del sistema de cultivo asociado (MSCA1-c) que en las muestras del SCT. El mayor número de colonias de hongos desarrollados en el medio de cultivo con muestras del perfil SCT-6 es probable que se deba a que las especies que allí desarrollaron pudieran estar mejor adaptados a ambientes calcáreos, ricos en carbonatos, condiciones que prevalecen en el perfil SCT 6. Otras características físicas de este perfil es el poco desarrollo radicular y bajo contenido en materia orgánica.

Cuadro 19. Población de cuatro grupos de microorganismos presentes en suelos donde se practica el Sistema de cultivo asociado (SCA) y el sistema de cultivo tradicional (SCT) en San Felipe Otlaltepec municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. 2014.

SCA (Sistema de cultivo asociado), SCT (Sistema de cultivo tradicional), ;Bma (Bacterias mesófilas

| Tratamiento | Bma 10 ⁻⁵ Ufc | Abf 10 ⁻⁵ Ufc | Bgn 10 ⁻⁵ Ufc | Hongos 10 ⁻⁵ Ufc |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| SCA 1 | 18.756 | 4.200 | 0.730 | 0.037 |
| SCT 3 | 9.533 | 12.133 | 0.076 | 0.027 |
| SCT 4 | 14.367 | 7.667 | 0.001 | 0.006 |
| SCT 5 | 11.500 | 16.250 | 0.131 | 0.022 |
| SCT 6 | 11.167 | 6.467 | 0.001 | 0.056 |

aeróbicas), Abf (Actinomicetos bacterias filamentosas), Bgn (Bacterias Gram negativas); Ufc (Unidades formadoras de colonias).

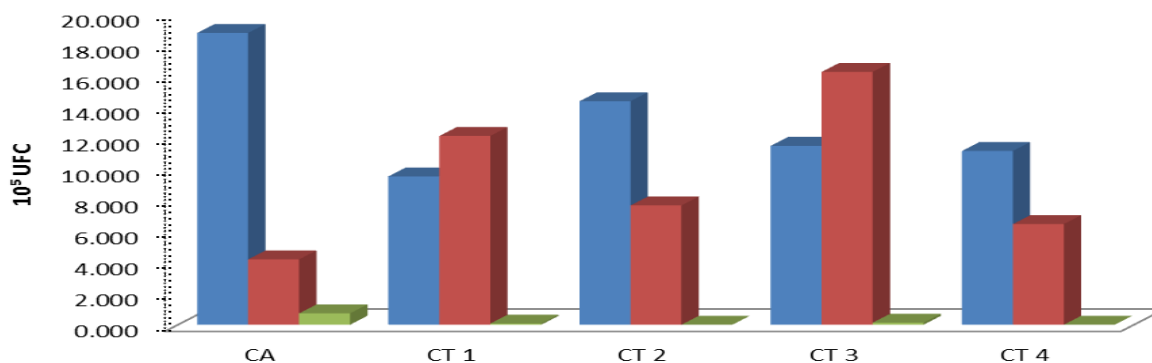


Figura 31. Grupos bacterianos presentes en muestras de suelo. SCA (Sistema cultivo asociado) y SCT (Sistema cultivo tradicional). Azul, bacterias mesofílicas aeróbicas, Rojo, bacterias filamentosas. Verde, bacterias Gram negativas.

El número UFC de bacterias, actinomicetos y hongos variaron entre los sistemas de producción lo que se asemeja a lo dicho por Alvarez *et al* 2003, existe

correlación positiva entre el contenido de arcilla y las UFC de bacterias y actinomicetos. Las arcillas junto con la materia orgánica contribuyen a la formación de microagregados que constituyen los microhábitats en donde se desarrollan las poblaciones microbianas (Stotzky, 1997). En estos microhábitats los microorganismos obtienen los elementos necesarios para su crecimiento, así como protección frente a la desecación y la depredación por protozoarios del suelo (Roper y smith, 1991).

En el cuadro 19 se aprecia una gran diversidad de colonias de bacterias mesófilas aeróbicas, bacterias Gram negativas, hongos y actinomicetos en el perfil SCA-1 que es el perfil de referencia; se cuentan 1 875 556 colonias de bacterias mesófilas aeróbicas; 73 000 colonias de bacterias Gram negativas; 3 700 colonias de hongos y 420 000 colonias de actinomicetos, es, entre todas las muestras analizadas la que cuenta con mayor número de colonias y diversidad; por otra parte en el territorio se aplica correctamente el manejo sustentable de tierras (MST); aplicar el sistema de cultivo asociado constituye un paso adelante en este camino.

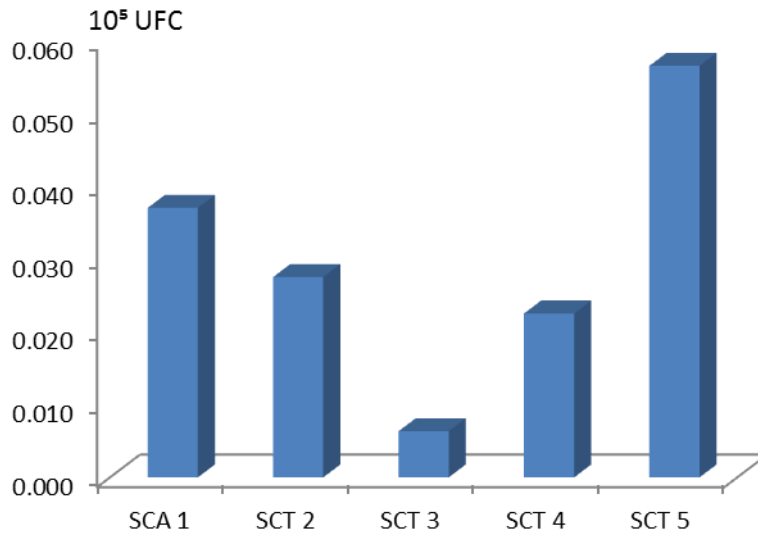


Figura 32. Colonias de hongos presentes en muestras de suelo del sistema de cultivo asociado (SCA) y tradicional (SCT) en San Felipe Otlaltepec, municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla.

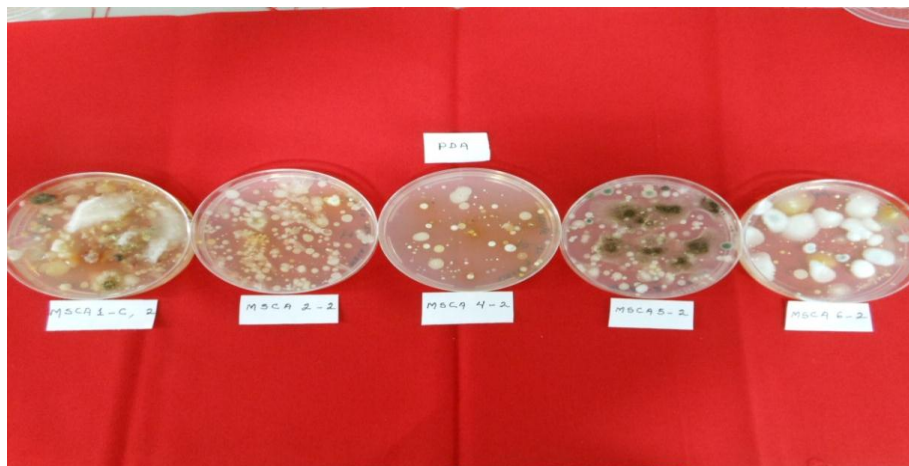


Figura 34.- Diversidad y cantidad de colonias de hongos en medio de cultivo Papa destrosa agar (PDA). De izquierda a derecha MSCA 1-C (sistema de cultivo asociado) y MSCA 2-2 a MSCA 6-2 (sistema de cultivo tradicional).

La figura 33 presenta la cantidad de colonias de bacterias mesófilas aeróbicas desarrolladas en las muestras de suelos; en el perfil de referencia (SCA-1) el número de colonias es el más cercano a los 2 millones de colonias, tal y como se

esperaba por el estado de conservación del suelo, el contenido en materia orgánica, el desarrollo radicular y la vegetación que cubre el suelo; en el perfil SCT-4, aunque este suelo está erosionado, se ha establecido un cobertura bastante densa de una vegetación compuesta de pasto y leguminosas de bajo porte, con un sistema radicular desarrollado (Ver descripción) con abundantes raíces finas que contribuyen al desarrollo de colonias de este tipo de bacterias; por el contrario en el perfil SCT-2, también erosionado, es el más bajo de todos, se puede ver en la descripción que es un suelo de apenas 4 cm de espesor, con una cobertura vegetal extremadamente pobre y un sistema radicular poco desarrollado (Ver descripción); la importancia de este grupo de bacterias se debe a que son las que más intervienen en la transformación de la materia orgánica.



Figura 35. Suelo con escasa o nula cobertura vegetal en el SCT- 2. Predio Sr. Carmelo Flores donde se practica el Sistema de Cultivo Tradicional. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

En la figura 36 se muestra una clara diferencia en el comportamiento de la proliferación de las colonias Gram negativas; cierto que muchas de éstas bacterias son perjudiciales al hombre, pues pueden causar enfermedades y éstas utilizan al hombre y a los animales como hospedero habitual y al suelo como hábitat de

sobrevivencia; sin embargo, desarrollan en éste una actividad biológica importante al actuar sobre la descomposición de la materia orgánica; las Gram negativas se desarrollan muy bien en hábitat sombreados, con abundante contenido en materia orgánica y en sistemas donde el desarrollo radicular es bueno; las condiciones propiciadas en el suelo por la erosión son poco favorables para el desarrollo de este grupo de bacterias.

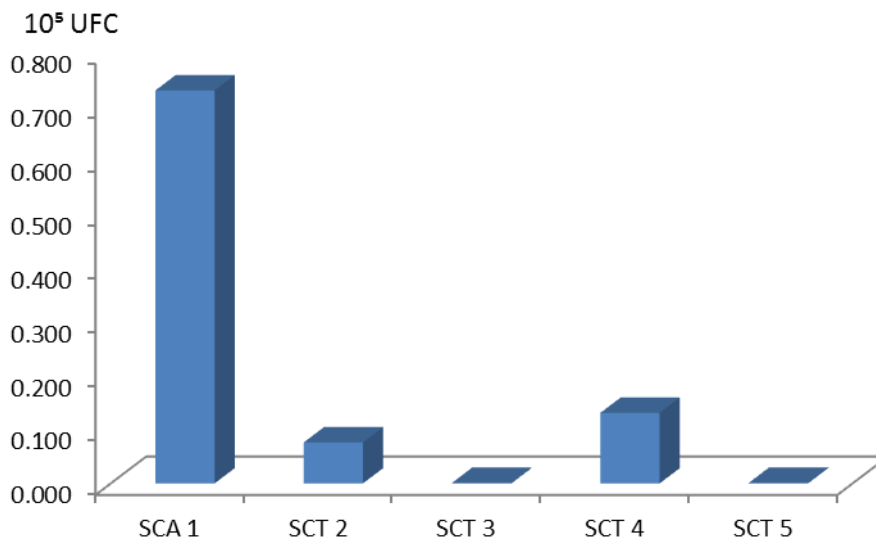


Figura 36.- El desarrollo de las colonias de bacterias Gram negativas en muestras de suelos tomadas en el predio donde se practica el sistema de cultivo asociado (SCA) es muy superior al de las muestras tomadas en los predios con sistemas de cultivo tradicional (SCT). 2014.

En la figura 37 la cantidad de colonias desarrolladas en las muestras de suelos del predio donde se practica el sistema de cultivo asociado es menor que en el resto de las muestras tomadas en los predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional, algo que pudiera estar en consonancia con el contenido en carbonatos en los suelos, que es más alto en aquellos que están erosionados, ya que se sabe que los actinomicetos son bacterias filamentosas o flageladas que abundan en suelos con alto contenido en carbonatos y de pH alcalinos.

En el cuadro 19 se observa que el desarrollo de los actinomicetos es superior en los suelos donde se cultiva con el sistema de cultivo tradicional (SCT) los cuales

tienen las características comunes siguientes (Cuadros 4, 6, 8, 10 y 12): Suelos erosionados, poco profundos, con sistema radicular poco desarrollados y niveles elevados de carbonatos de calcio.

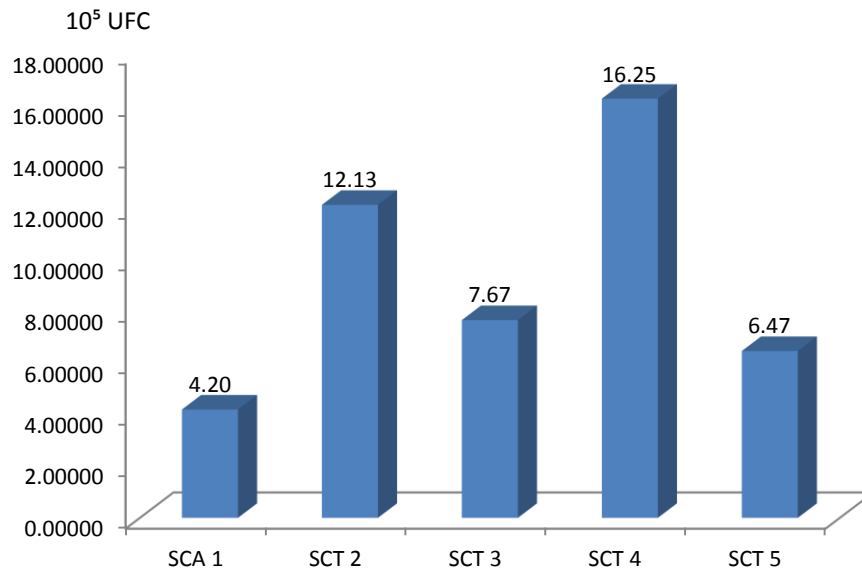


Figura 37.- Población de Bacterias del tipo Actinomicetos. SCA (Sistema de cultivo asociado) SCT (Sistema de cultivo tradicional).

Como resumen se presenta el cuadro 19, en el cual se puede apreciar las muestras cultivadas del perfil SCA-1, que es tomado como referencia, el número de colonias de bacterias mesófilas aeróbicas, bacterias Gram negativas y hongos, muy superior al desarrollo de colonias de las muestras tomadas en los predios donde se practica el sistema de cultivo tradicional (SCT) excepto en el número de colonias de los actinomicetos los cuales fueron mayores en el SCT esto posiblemente por el potencial que tienen estos microorganismos como agentes de control biológico contra hongos y bacterias fitopatógenas (Boukaew *et al.*, 2011, Minuto *et al.*, 2006, Rincón *et al.*, 2014). La actividad microbiana es importante para mantener la fertilidad del suelo y en la nutrición de las plantas. Los

microorganismos del suelo conducen la biodegradación de la materia orgánica y constituyen un importante reservorio lábil de C, N y P (Díaz- Ravina *et al.*, 1993) Este resultado constituye la validación del sistema de cultivo asociado para zonas áridas y semiáridas del estado de Puebla.

9.7 Indicadores económicos y sociales.

El sistema de cultivo asociado Guaje, pitaya y pitahaya, genera cada año, para la alimentación humana dos tipos de frutas, pitaya y pitahaya, una legumbre, vaina de guaje rojo, esquejes de pitayos y pitahayas para establecimiento de nuevas plantaciones, leña, forraje para el pastoreo de ganado, semilla seca de guaje y una gran cantidad de cubierta vegetal de alta calidad que se incorpora al suelo después de la cosecha y poda del guaje.

Los esquejes y la leña son productos de la poda, que como parte del manejo se realiza de manera rigurosa cada año al árbol del guaje y a la planta de la pitahaya. Los esquejes del pitayo se obtienen sólo cuando se realiza la poda que forma a la planta, lo cual ocurre cada cuatro años debido a su lento crecimiento.

La cosecha del guaje se realiza al momento en que el mayor porcentaje de vainas en el racimo de comportamiento productivo indeterminado ha alcanzado su madurez comercial; para ello con tijeras de pértiga se corta el racimo completo, se separan las vainas con buenas características y el resto del racimo que incluye vainas tiernas, botones florales, hojas y ramas leñosas, son incorporadas como acolchado natural alrededor de la zona de raíces de las plantas de guaje y pitahayas.

De esta manera, toda la cubierta vegetal de la leguminosa, cuantificada en 3.5 toneladas de materia verde o su equivalente en 1.7 toneladas de materia seca, se incorporan al suelo que permanece inamovible y conservando las características y propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo forestal.

Otra aportación del sistema de cultivo asociado es el forraje de gramíneas nativas que desarrolla entre las hileras de guaje, pitahaya y pitayos, sobre todo al iniciar la

época de lluvias cuando aún está ausente el follaje del guaje. El nivel de fertilidad, luminosidad, temperatura y humedad hacen posible el desarrollo rápido y abundante de este forraje, el cual fue cuantificado en 4.3 toneladas de materia seca (deshidratado a 60°C) en la última semana de junio del 2014.

El pasto es aprovechado por especie equino en pastoreo que come de manera uniforme y no perjudica a las plantas en cultivo; evitando así convertir este recurso productivo en malezas a las que se tenga que combatir. El abono del caballo es a su vez distribuido de manera uniforme en el predio de cultivo sin tener que erogar por la compra de estiércol y su distribución. El pasto así podado retoña a un ritmo más lento, una vez establecida la cubierta vegetal del guaje a partir de los meses de julio y agosto, y en septiembre nuevamente está listo para aprovecharse en pastoreo. La producción de biomasa seca en este segundo ciclo de crecimiento es de 2.5 ton ha⁻¹ de materia seca.

El cultivo asociado de guaje, pitaya y pitahaya; permite tener ingresos durante varios meses del año debido al comportamiento productivo de cada especie; así la pitaya empieza su producción en abril, alcanza su máxima producción en mayo (de ahí su nombre) y termina en la primera quincena de junio. La pitahaya por su parte hay variedades que fructifican a finales de mayo como la solferina redonda, otras a finales de junio como la de pulpa blanca y la roja ovalada, pero también ofrece una segunda producción a finales de agosto y principios de septiembre, sin embargo esta segunda etapa productiva se ve mermada por el nivel de sombreado que alcanza el estrato donde se encuentra la pitahaya por obstrucción de la luminosidad por el follaje del guaje.

El guaje empieza a alcanzar su madurez comercial en septiembre pero la variabilidad de los genotipos existentes de material nativo hace la cosecha desuniforme prolongando el periodo de cosecha de septiembre a enero. Esto es similar en ambos sistemas de cultivo, asociado y tradicional, pues aunque en la primera se realiza selección de material genético para la siembra, la base de esa selección masal es el fenotipo y la reproducción sexual. La producción de vaina en el SCT se concentra en periodo de tiempo más corto debido principalmente a

problemas fitosanitarios y no al comportamiento productivo de los genotipos existentes.

Los datos de producción y de ingresos que se reflejan en el Cuadro 20, muestran una utilidad por hectárea de \$47,929.50 durante el ciclo 2014. EL corte y venta de esquejes de pitaya se realiza cada cuatro años y el ingreso que se obtiene en el año de corte, se prorratea entre los cuatro años de crecimiento, de esta manera se suman proporcionalmente a los ingresos de cada año. El resto de los conceptos puede permanecer sin variaciones para los años posteriores excepto por la tendencia de incremento de la producción hasta la regularización de la producción de las especies que se estima ocurra en el año 20 de su establecimiento.

El indicador económico relación beneficio/costo (B/C) en el sistema de cultivo asociado es de 1.8 lo cual indica que por cada peso que se invierte se recupera 1.8; es decir el sistema ofrece una seguridad de que aún en contingencias naturales y económicas existe un amplio rango de estabilidad operativa.

Por su parte, el sistema de cultivo tradicional que incluye asociación de maíz con frijol, el indicador económico relación beneficio costo (B/C) es negativa como también lo es la utilidad (Cuadro 21) pero este sistema contempla otros factores que no encajan esquemáticamente al concepto de relación B/C y que sin embargo lo hacen funcional tales como: a) el 90% de los jornales que se requieren en el proceso de cultivo lo realizan miembros de la familia, b) las labores de remoción del suelo como barbecho, surcado para la siembra, primer y segundo aporques lo realizan con yuntas de burros y caballos propios; un bajo porcentaje (15%) realiza el barbecho con maquila de tractor sobre todo aquellos que no tienen yunta propia, c) Insumos como el fertilizante se adquieren con subsidios de gobiernos d) uso de semillas criollas seleccionadas de sus cosechas, e) alto porcentaje de los productos obtenidos lo destinan al autoconsumo y solamente se venden excedentes como el guaje y maíz, f) el estiércol es generado por animales domésticos y de carga propios y su traslado a los predios de cultivo también se hace con los mismos animales de carga, g) la cosecha del guaje se realiza con mano de obra familiar, h) el soporte de forraje para los animales de carga cuando

se agotan las reservas cosechadas es la extensión de agostadero disponible como propiedad comunal de San Felipe Otlaltepec.

No obstante estas características, los ingresos en el SCT son muy inferiores a los que se obtienen con el sistema de cultivo asociado guaje, pitaya y pitahaya y suponiendo que los ingresos del SCT se equilibraran con sus egresos, los ingresos en el SCA son superiores por \$47,929.50 pesos. Lo mismo ocurre con el número de jornales donde el SCA supera por 148 al SCT.

La recolección de los esquilmos agrícolas (zacate) deja al descubierto el suelo y desprotegido el predio, permite la presencia de la ganadería extensiva que depreda los escasos árboles de guaje que nacen naturalmente, acaban con el rastrojo (residuos después de retirar el zacate de maíz o paja de frijol) y residuos de cosecha del guaje además de que pisotean y aflojan el suelo dejándolo expuesto a la erosión eólica, al acarreo por escorrentía de lluvias copiosas y a la degradación paulatina de su calidad.

Cuadro 20.- Ingresos, egresos y utilidad por ha durante el ciclo agrícola 2014, sistema de cultivo asociado guaje, pitaya y pitahaya.

| Ingresos | |
|---|---------------------|
| Guaje rojo | |
| Vaina de guaje rojo: kg/planta | 11 |
| Vaina en fresco (kg/ha) | 3,740 |
| Leña producción m ³ | 10.73 |
| Venta de vaina: \$9.43/kg | \$35,268.20 |
| Venta de leña: \$210./ m ³ | \$2,253.30 |
| Ingresos | 37,521.50 |
| Pitaya | |
| Pitaya fruta: kg/planta (5.64 brazos/planta) | 1.45 |
| Pitaya fruta: Kg/ha) | 1,856 |
| Esquejes/ha Material vegetativo (2.04 esquejes/planta) c/4 años. | 652.8 |
| Venta de fruta (\$10.00/kg). | \$18,560.00 |
| Venta de esquejes para planta (\$20.00 c/u) | \$13,056.00 |
| Ingresos | \$31,616.00 |
| Pitahaya | |
| Producción, pitahaya fruta (kg/planta). | 3.53 |
| Pitahaya fruta (kg/ha). | 1,200.20 |
| Esquejes/ha (6 esquejes/planta) | 2,040.00 |
| Venta de fruta ha (\$20.00/kg) | \$24,004.00 |
| Venta de esquejes para planta (\$5.00 c/u) | \$10,200.00 |
| Ingresos | \$34,204.00 |
| Total de ingresos | \$103,341.50 |
| Egresos | |
| Costo de mantenimiento del cultivo | \$38,312.00 |
| Costo por cosecha de guaje | \$14,850.00 |
| Costo por cosecha de pitaya | \$1,500.00 |
| Costo por cosecha de pitahaya | 750.00 |
| Total de egresos | \$55,412.00 |
| UTILIDAD (Ingreso total- Egreso total) | \$47,929.50 |
| Componente Social | |
| Jornales generados en el mantenimiento: | 64 |
| Jornales generados en la cosecha de guaje | 99 |
| Jornales generados en la cosecha de pitaya | 10 |
| Jornales generados en la cosecha de pitahaya | 5 |
| Total de jornales. | 178 |
| Desecho de cosecha de guaje (ramas, hojas y vainas tiernas) kg en seco (coeficiente de conversión 48.5% de materia verde a 60°C). | 1,700 |
| Forraje de pasto nativo (kg de materia seca a 60°C) kg | 6,800 |

Cuadro 21. Ingresos, egresos, utilidad por ha y mano de obra ocupada durante el ciclo agrícola 2014, sistema de cultivo tradicional.

| Sistema de cultivo tradicional (Maíz asociado con frijol) | | | | | | | |
|--|-----------------------|------------------------------------|-----|-------------------------------|----|-----------------------|-------------------|
| | Producción/ha (kg) | Cantidad para el autoconsumo | % | Productos para la venta | % | Ingresos por venta | |
| Maíz grano criollo (\$4.5/kg) | 510 | 375 | 48 | 134 | 52 | 605.24 | |
| Frijol grano tipo enredo (12.00/kg). | 91 | 91 | 100 | 0 | 0 | 0 | |
| Guaje vaina en fresco (\$6.82/kg) | 151 | 47 | 18 | 103 | 82 | \$705.41 | |
| Zacate de maíz | 110 | 97 | 89 | 13 | 11 | 188.79 | |
| Ingresos | | | | | | | \$1,499.44 |
| Egresos | | | | | | | |
| Mantenimiento del cultivo | | | | | | | \$8,330.00 |
| Costo cosecha de guaje | | | | | | | \$600.00 |
| Total de egresos | | | | | | | \$8,930.00 |
| Utilidad | | | | | | | -\$7,430. |
| Jornales generados en el proceso de producción y cosecha de guaje | | | | | | | 30 |

Cuadro 22. Etapas fenológicas, comportamiento de la producción y precios de venta al mayoreo de las especies en el sistema de cultivo asociado.

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|----------|------------------------|------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|--|------------------------------------|---|---|
| Guaje | Cos 10.5% | | | Brot de foll | Crec de ram prod y flor | Flor y des de frut | Flor y des de frut | Flor, des de frut y cos | Flor, des de frut y Cos 1.8% | Flor,des de frut y Cos 8% | Flor, des de frut y Cos 35% | Flor, des de frut y Cos 44.7% |
| | \$10. kg | | | | | | | \$80.00 kg | \$24.55 kg | \$17.87 kg | \$10.00 kg | \$10.00 kg |
| Pitaya | Prim flor y Flor | Flor | Flor y des de de frut | Flor, des de frut e inic de cos | Cos | Cos | | | Crec veg | Crec veg | | Apar de prim flor |
| | | | | \$20.00 kg | \$15.00 kg | 20.00 kg | | | | | | |
| Pitahaya | | | Emis bot flor, 1era. Flor | Flor y des de frut | | 2 ^a . Flor | Des de frut | Des de frut | | 3ra. Flor, des de frut | | |
| | | | | | Cos \$20.00 kg | Cos \$15.00 kg | cos \$15.00 kg | cos \$15.00 kg | | Cos \$20.00 kg | | |

Cos (cosecha), Brot de follaje (brotación de follaje), Crec de ram prod (crecimiento de ramas productivas), Flor (floración), Des de frut (Desarrollo de frutos), Prim flor (primordios florales), Inic de cos (inicio de cosecha), crec veg (crecimiento vegetativo), Apar de prim flor (aparición de primordios florales), Emis bot floral (emisión botón floral), 1ra. Flor (Primera floración)

El sistema de cultivo tradicional del guaje es el practicado actualmente por un alto porcentaje de campesinos e indígenas en la región de la Mixteca Poblana; no existe un paquete tecnológico que guíe o regule las actividades agrícolas en estas plantaciones, en no pocos casos son cultivos de traspatio, en otros, las áreas o predios dedicados a la explotación del guaje no siguen una regulación del distanciamiento entre plantas que responda a un estudio previo de investigación y los árboles de guaje se desarrollan de manera natural, alcanzando alturas que dificultan en extremo las labores de cosecha de las vainas por un lado, y en otro sentido, los árboles no son capaces de proveer protección contra los rayos solares (Figura 25) y el impacto directo de las precipitaciones sobre la superficie del suelo, ocasionando la mineralización de la materia orgánica y el arrastre por las aguas de

escorrentía (Figuras 23 y 24), quedando expuestas en la superficie las rocas; en muchos casos se observa como más del 90 por ciento de piedras y gravas están expuestas en la superficie; esta práctica agrícola, desarrollada durante muchos años en la región Mixteca es la causa principal del deterioro de los suelos y de la

9.8 Sistema de cultivo asociado vs Sistema de cultivo tradicional



Figura 38. Sistema de cultivo tradicional. Predio del Sr. Carmelo Flores Apolinar. Se observa distribución arbitraria de plantas de guaje y la exposición de gravas y piedras en la superficie del suelo. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.



Figura 39. Erosión provocada por la lluvia, nótese como se ha formado un desague en el centro del predio. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.



Figura 40. Efecto de las aguas de esorrentía en un suelo que sostiene una plantación de guaje por el sistema de cultivo tradicional, nótese, la roca que queda desnuda y el porcentaje de piedras expuestas en superficie. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera; de continuar con esta práctica, nociva al entorno; se acentúa la pérdida de los suelos y esto conlleva a una serie de problemas ambientales, económicos y sociales. Esto se puede revertir, solo hay que iniciar un proceso de restablecimiento de las condiciones naturales originales, que en un momento existían en la región y la alternativa es aplicar el sistema de cultivo asociado propuesto en esta tesis; las Figuras 26 y 39, pueden servir de referencia para imaginarnos un futuro a mediano plazo, donde se inicie un proceso de recuperación y mejoramiento de los suelos y el entorno, y con ello se mejoran también las condiciones económicas y sociales; es, este sistema de cultivo asociado una práctica agroecológica que debe ser extendida en la región de la Mixteca Poblana y en otras regiones similares de la República Mexicana.



Figura 41. Aspecto que presenta el predio del Sr. Luciano Hernández, donde se aplica el sistema de cultivo tradicional. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.



Figura 42. Parcela “El llano” donde se aplica el sistema de cultivo asociado, el follaje del guaje forma una cobertura protectora contra los rayos solares y el impacto de las precipitaciones. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

Otra particularidad, que conspira con el buen desarrollo de las plantaciones de guaje en el sistema de cultivo tradicional es la depredación por el ganado en pastoreo extensivo, principalmente del ganado caprino y bovino (Figura 43); por esta causa las plantaciones de guaje pueden tardar hasta 10 años en desarrollar e

iniciar su producción. Por el contrario, en el sistema de cultivo asociado se puede permitir la entrada controlada, de preferencia con cercos eléctricos, de ganado de hábitos de pastoreo como el borrego pelibuey o caballar (Figura 44) como método de poda del pasto y la hierba. Esta forma de aprovechar la vegetación natural del estrato bajo, beneficia al agroecosistema con la aportación de residuos orgánicos al suelo; el ganado caballar no “ramea”, es decir no se alimenta de las ramas de los árboles, solo consume hierbas y pastos del estrato bajo y ramas cortadas durante la época de poda y cosecha.



Figura 43. Cultivo tradicional. Finca Sr. Ponciano López. El follaje de los arbustos de guaje son manjar para el paladar de los chivos, que depredan y atrasan el desarrollo de estas plantaciones. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

En los sistemas de cultivo tradicional, es común la práctica de sembrar entre los árboles de guaje, granos básicos como maíz y frijol; en promedio crecen 26 árboles por hectárea, una distancia entre árboles que no ofrece cobertura y con los cultivos de maíz y frijol intercalados, que son cultivos limpios, tampoco se logra una cobertura efectiva.



Figura 44. Pastoreo de ganado caballar, es una opción viable en el sistema de cultivo asociado, ya que éstos no ramean y contribuyen a controlar el crecimiento del pasto. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

En el sistema de cultivo tradicional las árboles de guaje no son sometidos a ningún tratamiento agro técnico; no se realiza poda para regular el crecimiento y la producción de vainas y por ende, las plantas alcanzan altura de hasta 20 m, lo que compromete los rendimientos agrícolas y dificulta en gran medida las labores de cosecha, con riesgos por accidentes para las personas (Figura 45). Sin embargo, en el sistema de cultivo asociado, la práctica de podas, realizadas regularmente, no permite el crecimiento excesivo de las plantas de guaje (Figura 50 y 51) y la cosecha se lleva a cabo sin tener que trepar sobre los árboles; se hace de manera segura, de tal forma que las mujeres pueden realizar perfectamente esta actividad

sin riesgo alguno, colaborando de esta

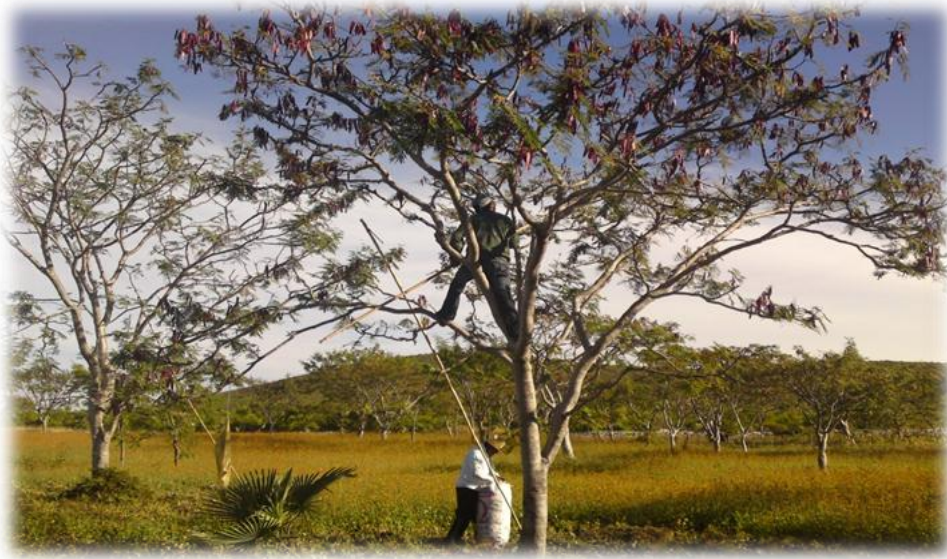


Figura 45. Riesgos e incomodidad durante la cosecha en el sistema de cultivo tradicional. guaje asociado con frijol sin manejo; finca Sr. Luciano Hernández. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.



Figura 46. Plantación de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) sin manejo, Finca sr. Victor Palacios, Dolores Hidalgo, Huitziltepec, Puebla. México 2014.

forma a la equidad de género. La cantidad de leña cortada durante las podas constituye un renglón de venta y para el consumo familiar (Figuras 47, 48 y 49),



Figura 47. Momento de la poda del guaje, práctica que permite regular el crecimiento de los árboles, formar su estructura y favorecer ramas productivas. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.



Figura 48. En el sistema de cultivo asociado, las mujeres pueden participar en las labores de poda; algo que contribuye con la equidad de género. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.



Figura 49. Leña acopiada durante las podas en una plantación de guaje rojo, constituye un subproducto en el sistema de cultivo asociado. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

además de mejorar los rendimientos agrícolas de las plantaciones, es un medio para obtener leña, que puede ser vendida en el mercado local, a la vez de ser empleada como combustible doméstico; el resto de hojas y ramas son esparcidas sobre el suelo o utilizadas para el alimento del ganado menor; la cantidad de plantas por área requiere de un número importante de mano de obra y donde se puede incorporar a la mujer sin riesgos por accidentes (Figuras 48), por lo cual otro beneficio es el aportar medio de trabajo para los lugareños.



Figura 50. Sistema de cultivo cultivo asociado. La poda realizada con regularidad permite controlar la altura de la planta y facilita las labores de la cosecha; además de incrementar los rendimientos.



Figura 51. La cosecha del guaje requiere de un alto número de jornales, pueden participar mujeres y personas de edad avanzada. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

9.9 Otras ventajas del sistema de cultivo asociado (guaje, pitaya y pitahaya).

La adopción masiva del cultivo asociado conllevaría a restaurar el ecosistema de la región dañado por la apertura de tierras al cultivo como consecuencia del incremento de la población, el sobrepastoreo y el uso discrecional de los recursos forestales, lo cual provocó degradación de la vegetación natural de la cubierta vegetal natural favoreciendo, con el paso del tiempo, la erosión de los suelos, el deterioro del entorno y el abatimiento de los mantos acuíferos y por lo tanto de ríos y manantiales. La adopción del sistema de cultivo asociado no solamente contribuye a mejorar la economía de la población, sino a reforestar, pues los cultivos asociados forman tres estratos de vegetación que se comportan como semi bosques según Suárez de Castro (1979) lo cual puede contribuir a la recuperación de los mantos acuíferos y posiblemente, hasta renacer los manantiales que un día existieron. (Observación personal, remembranza de los lugareños y datos de población de INEGI en periodo de 20 años).

En el sistema de cultivo asociado se emplea un sistema de riego por goteo que utiliza como fuente, el agua de lluvia el cual es recolectada y almacenada en ollas de agua con cubiertas de plástico, este sistema garantiza el uso eficiente de este

preciado líquido (Figura 52 y 53), y la eficiencia de su uso es favorecido por el suelo protegido por el estrato arbóreo formado por las plantas de guaje; la pitaya y pitahaya y en un segundo nivel por hierbas y pastos nativos que conforman una cubierta vegetal densa que evita la pérdida de agua por evaporación.



Figura 52. Sistema de riego por goteo, el agua utilizada es captada de las lluvias y almacenada en fosas cubiertas con plástico. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.



Figura 53. Hoya de captación para recolectar agua de lluvia y emplearla a través del sistema de riego por goteo. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

Otra diferencia importante entre los dos sistemas, es que en el sistema de cultivo asociado se emplea como mejorador de suelos y como fertilizante orgánico el humus de lombriz (Figuras 54 y 55); por cada hectárea de cultivo asociado se

instala un cantero de 1.5x6 m y de 40 cm de altura, capaz de producir cada tres meses un total de 2000 kg de humus que son incorporados al suelo cuatro veces en el año, lo que hace un total de 8 ton de humus por año; cada cantero se mantiene en producción con el sustrato que aportan el ganado vacuno, caballar y caprino, que es abundante en estas partes del Estado y aseguran la producción constante de humus; el humus se aplica haciendo un surco alrededor de la planta en el área de goteo y posteriormente se cubre para evitar pérdidas de sus nutrientes y lograr mayor eficiencia.



Figura 54. Unidad de lombricomposta (cantero) construida para abastecer de humus a la plantación en sistemas de cultivo asociado. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.



Figura 55. Momento de aplicar el humus de lombriz en el área de goteo de la planta de pitahaya. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

Sin embargo, uno de los problemas más graves que presentan los suelos de la Mixteca Poblana y de las zonas áridas es el pobre contenido en materia orgánica por lo que la incorporación de ésta a los suelos formaría parte de un proceso de mejoramiento a largo plazo pero vital si se quiere revertir el proceso de deterioro de los suelos y los ecosistemas en esta parte del estado de Puebla.

Los esquejes de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) para plantación son rigurosamente seleccionados en la huerta madre, se seleccionan las plantas más vigorosas, con mayor desarrollo y producción de frutos, exentas de ataques de plagas o enfermas, éstas son cortadas (Figura 56); y se colocan en las calles de las plantas del guaje durante 15 días con la finalidad de que “cicatricen” los cortes (esta es su etapa de vivero), luego son trasladadas directamente a las plantaciones de fomento al vivero donde son



Figura 56. Selección y corte de esquejes de pitaya en el rancho “El llano”. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

atendidas por personal experto durante doce semanas hasta que alcanzan a desarrollar un sistema radicular adecuado para ser llevadas a nuevas plantaciones de fomento. Con la pitahaya (Figura 57); se procede de igual forma, desechando las partes que presentan menos desarrollo, libres de plaga y/o enfermedades, igualmente se llevan al vivero hasta que estén listas para la siembra (Figura 58).



Figura 57. Plantas de pitahaya en condiciones óptimas para la selección de esquejes. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.



Figura 58. Vivero de guaje, pitaya y pitahaya, localizado en la localidad de Molcaxac, Puebla. México. 2014.

En el sistema de cultivo tradicional se siembra la pitaya en un campo abierto (Figura 59), con el suelo desnudo, expuesto a las inclemencias climáticas, que degradan el suelo y favorecen el calentamiento de la superficie y con ello la emisión de gases de efecto invernadero por la mineralización de la materia orgánica (Suarez, 1980); por el contrario, en el sistema de cultivo asociado las plantaciones de la pitaya se realizan en condiciones más armónicas con el entorno (Figura 60).



Figura 59. Plantaciones de fomento en un sistema de cultivo tradicional, no se toma en cuenta la protección del suelo. Dolores Hidalgo, Huitziltepec; Puebla, México. 2014.



Figura 60. Plantación de fomento de pitaya en un sistema de cultivo asociado. San Felipe Otlaltepec. Puebla, México. 2014.

Con respecto al sistema de cultivo tradicional, ampliamente practicado en la región de la Mixteca Poblana, el sistema de cultivo asociado tiene muchas ventajas; a continuación se resumen las ventajas:

- Las semillas son rigurosamente seleccionadas.
- La calidad del fruto es homogénea.
- Las plantaciones son diseñadas teniendo en cuenta las características fenológicas de las especies y las condiciones del entorno.
- Se realizan práctica de manejo (fertilización, incorporación de abonos orgánicos, riegos por goteo, podas de formación, de fructificación y saneamiento, control de plagas y enfermedades).
- Los períodos de cosechas están definidos en tiempo, además pueden ser inducidos (lo que hace mas eficiente la cosecha).
- Se cosecha prácticamente todo el año; sólo en los meses de febrero y marzo no se cosecha (Ver cuadro 22).
- Incrementa el número de empleo.

- Incrementa el número de personas a emplear en las atenciones culturales y cosechas (10 meses cosechando).
- Se crean condiciones similares a las de un semi-bosque, pues favorece el sombreado y la cobertura vegetal.
- Incremento constante de materia orgánica (Humus) al suelo.
- Empleo de potenciador del crecimiento con el uso el sub producto de humus líquido y otros.
- Ahorro de fertilizantes minerales.
- Es un sistema sustentable para los agricultores.

Otros beneficios del sistema de cultivo asociado (SCA):

- Se incrementa la calidad de la producción y esta se hace más homogénea.
- La época de cosecha se incrementa y abarca diez meses del año (Abril a Enero) por el comportamiento productivo de las especies.
- La implementación del sistema (manejo) demanda asesoría técnica calificada y capacitación continua de la mano de obra.
- Asegura empleo continuo de la mano de obra familiar.
- Se crean condiciones similares a las de un semi-bosque en el predio de cultivo, pues favorece el sombreado y la cobertura vegetal.
- La materia orgánica que se acumula continuamente en el suelo, protege del efecto de los rayos solares, del viento, del golpeteo de las gotas de lluvia, del pisoteo del ganado en pastoreo (disminuye cambios bruscos de temperatura en el suelo, favorece los agregados y crea condiciones microambientales para el desarrollo y proliferación de la micro y macrofauna del suelo, disminuye la pérdida de agua acelerada por evapotranspiración, favorece la infiltración del agua de lluvia al subsuelo por los canales de raíces muertas y por los espacios adjuntos a la gran cantidad de raíces vivas de las especies vegetales ahí asociadas.
- Disminución del riesgo de cosecha por caída de quienes participan en la recolección de los frutos.

- Producción de leña y forraje en el predio de cultivo lo cual evita su extracción de los montes de la selva baja caducifolia y por lo tanto evita su depredación.
- Producción de alimentos inocuos.
- Conservación y fomento de la biodiversidad.

X. CONCLUSIONES

- El sistema de cultivo asociado (SCA) integrado a un paquete tecnológico que observa principios de sustentabilidad, favorece la conservación de los suelos, mejora sus características físicas, químicas, la cantidad y diversidad de poblaciones de microorganismos y en general, la calidad de los suelos en beneficio de las especies allí desarrolladas.
- El SCA incrementa los rendimientos por unidad de superficie y la calidad de los productos, diversidad y producción continua de alimentos (10 meses del año, Abril a Enero), se generan más empleos durante los ciclos productivos, mayor estabilidad de la economía familiar ante fluctuaciones de precios en los mercados así como de posibles afectaciones por siniestros meteorológicos - climatológicos y mayores ingresos en comparación a las unidades productivas cultivadas con el sistema tradicional.
- La adopción masiva del cultivo asociado conllevaría a restaurar el ecosistema de la región Mixteca dañado por la apertura de tierras al cultivo como consecuencia del incremento de la población y el sobrepastoreo, que hicieron que con el paso del tiempo, se abatieran los mantos acuíferos y los manantiales. La adopción del sistema de cultivo asociado no solamente contribuye a mejorar la economía de la población, sino a reforestar y a recuperar el manto acuífero y posiblemente, hasta renacer los manantiales que un día existieron.
- Los índices obtenidos muestran una tendencia de mayor sustentabilidad en el sistema de cultivo asociado guaje, pitaya y pitahaya en relación al sistema de cultivo tradicional lo cual fortalece el planteamiento de ser una alternativa sustentable de cultivo para las condiciones climáticas y edáficas de la región Mixteca Poblana.
- En la parcela de cultivo asociado ubicado en San Felipe Otlaltepec, durante los diez años de operación se ha generado un paquete tecnológico que asegura la funcionalidad del cultivo de las especies de interés nutricional,

nativas y endémicas integradas a la biodiversidad de la región como el guaje rojo, la pitaya y la pitahaya en las modalidades de monocultivo o de cultivo asociado y que de establecerse nuevas plantaciones asegurará la producción sustentable para beneficio de los agricultores de la Mixteca Poblana.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri M., Nicholls Clara I. 2000. Agroecología Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. Serie 1^{era}. Edición. México D.F.
- Alvarez-Solis, J. D., y Anzueto-Martínez, M. de J. 2003. Actividad Microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. Ensayo en Agrociencia 38: 13-22, 2004.
- Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2014. INEGI.
- Boukaew S., S. Chuenchit and V. Petcharat (2011) Evaluation of *Streptomyces* spp. for biological control of *Sclerotium* root and stem rot and *Ralstonia* wilt of chili pepper. *BioControl* 56:365-374.
- Castillo M R, H Calix, C A Rodríguez (1996) Guía Técnica para el Cultivo de la Pitahaya. Universidad de Quintana Roo, INIFAP y Universidad Autónoma Chapingo. Chetumal, México. 158 p.
- Celaya-Michel, H., & Castellanos-Villegas, A. E. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343-356.
- Comisión Mundial para el Medio Ambiente, ONU, 1987. "Nuestro Futuro Común".
- Consbejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). 2012.
- Crovetto, C. (1996). Stubble over the soil. The vital role of the plant residue in soil management to improve soil quality. Special Publication 19. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy. 264 pp.
- Díaz-Raviña, M., M. J. Acea, and T. Carballas. 1993. Microbial biomass and its contributions to nutrients concentrations in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25: 25-31.
- Encuesta socioeconómica a propietarios de unidades productivas, 2015. San Felipe Otlaltepec, municipio de Tepexi de Rodríguez y Molcaxac, Molcaxac, Puebla.
- Esquivel P. Stintzing F.C., and Carle R., 2007. Comparison of morphological and chemical fruit traits from different pitaya genotypes (*Hylocereus* sp.) grown in Costa Rica. *Journal of Applied Botany and Food Quality.* 81 (1) 7-14.
- Fouqué, A. (1972). Espèces fruitières d'Amérique tropicale. *Fruits*.

- García I. C., Hernández Gil F. y Trasar C. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medidas de actividad enzimática y biomasa microbiana. Ediciones Mundi-Prensa. España. Pp. 287-288
- García, E. (1964). Clasificación climática de koppen modificado. Coneval.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 5ª. ed. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. 90 pp.
- García, R. (1994). Interdisciplinariedad y sistemas complejos. In Ciencias sociales y formación ambiental (pp. 85-124). Gedisa.
- Guízar-Nolazco, E., Granados-Sánchez, D., & Castañeda-Mendoza, A. (2010). Flora y vegetación en la porción sur de la mixteca poblana. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 16(2), 95-118.
- Hernández, A.; Ascanio, M. O.; Cabrera, A.; Morales, M. y Medina, N. (2004). Problemas actuales de clasificación de suelos: énfasis en Cuba. Editorial Universidad de Veracruz, México. 221 pp.
- Hernández, A.; Ascanio, M. O.; Morales, M.; Bojórquez, J. I.; García, N. E. y García, D. (2006). Fundamentos de la formación del suelo, cambios globales y su manejo. Editorial Universidad Autónoma de Nayarit, México. 214 pp.
- INEGI. 2007. Censo agropecuario.
- INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda
- Jiménez, R. 2010. Física de Suelos. Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. 16 pp.
- Jorge I. F, Ferro de O. 1989. Aspectos anatómicos e fitoquímicos de *Hylocereus undatus* (Haworth. Britton & Rose). Rev. Farmacéutica. Bioquím. Univ. Sao. Paulo. 25:123-136.
- Lal, R. (2000). Physical management of soil of the tropic: priorities for the 21st. century. *Soil Science*, 165: 191-207.
- Land Degradation Assessment in Drylands (LADA). 2010. Relatoría del proceso de levantamiento de Buenas Prácticas Agrícolas para el Manejo Sostenible de Tierras. La Habana, Cuba. 90 pp.
- Leal, F., & Navas, J. A., 2000. Cultivos multiestrata: un modelo de desarrollo agrícola para el área de Barlovento. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 26:67-77
- López, G. R.; Díaz, P. J. C.; Flores, M. G. 2000. Vegetative propagation of three species of cacti: pitaya (*Stenocereus griseus*), tunillo (*Stenocereus stellatus*) and jiotilla (*Escontria chiotilla*). *Agrociencia* 34: 363-364.

- Manna, M. C.; Ghosh, P. K. y Acharya, C. L. (2003). Sustainable crop production through management of soil organic carbon in semiarid and tropical India. *Journal of Sustainable Agriculture*; 21. 87-116.
- Martinez Gonzalez, J. C., & Cruz Hernandez, J. P. (1995). Caracterización de frutos de pitaya *Stenocereus griseus* H., en la Mixteca. *Revista Chapingo (Mexico). Serie Horticultura*, 1(4), 77-81.
- Martínez H., E. (1983) Determinación de algunos parámetros ambientales que influyen en la ruptura de la latencia en semillas de *Stenocereus griseus*
- Martínez-Pérez, A., López, P. A., Gil-Muñoz, A., & Cuevas-Sánchez, J. A. (2012). Plantas silvestres útiles y prioritarias identificadas en la Mixteca Poblana, México. *Acta botánica mexicana*, (98), 73-98.
- Martínez-Trinidad, S.; Cotler, H.; Etchevers-Barra, J. D.; Ordaz-Chaparro, V. M. y de León-González, F. (2008). Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical seco. *Terra Latinoamericana*; 26: 299-307.
- Mercado A., y Granados D., (1999). La Pitaya, Biología, Ecología, Fisiología Sistemática, Etnobotánica
- Mercado, B. A.; granados, S. D. 2002. La pitaya, biología, ecología, fisiología, sistemática y etnobotánica. Universidad Autónoma Chapingo. México. 194 p.
- Minuto A., D. Spadaro, A. Garibaldi and M. L. Gullino (2006) Control of soil borne pathogens of tomato using a commercial formulation of *Streptomyces griseoviridis* and solarization. *Crop Protection* 25:468-475.
- Montagnini, F.; Fanzeres, A. y Guimaraes, V. S. (1994). Estudios de restauración en la Región del Bosque Atlántico de Bahía, Brasil. *Interciencia* 6: 323-330.
- Mora, M. 2010. Aislamiento y caracterización de rizobacterias de suelos agrícolas con potencial de ser empleadas como “biofertilizantes” en la producción de hortalizas. Querétaro, Qro. 13-16 pp.
- Munsell Soil Color Charts. 1994. Revised edition. Macbeth Division of Kollmorgen Instrumrnts Corporation 405 Little Britain Road, New Windsor, NY 12553
- Murray-Núñez, R. M.; Bojórquez, S. J.; Hernández, J. A.; Orozco, M. G.; García, J. D. y Ontiveros, H. (2010). Influencia de especies agroforestales sobre las propiedades físicas de un suelo Fluvisol Haplico de la llanura costera norte de Nayarit 2010; 22-23. 233pp.
- Oficina Nacional de Desarrollo Humano, 2008. INEGI. Censo de Población y Vivienda, 2010
- Olague, J. D. J. H., Berber, J. D. R., Mota, J. L. O., Menes, M. R. M., Gutiérrez, R. D. G., Ayala, C. R., & Mendoza, J. V. (2012). Efecto del sistema radical de

- cuatro cultivos en la erosión del suelo. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 271-278.
- ONU 1987. Comisión Mundial para el Medio Ambiente, "Nuestro Futuro Común".
- Ortiz H., Livera M. y Tirado T. 1994. El cultivo de la pitahaya (*Hylocereus spp.*) y sus perspectivas en México.
- Paneque Pérez V. M. y Calañas Naranjo M. 2004. Abonos orgánicos, conceptos prácticos para su evaluación. Eds. MINREX. La Habana. Cuba. 54 pp.
- Perdomo, A, L.J. 2000. Recomendaciones técnicas acerca del uso de humus de lombriz en los cultivos de ciclo corto; maíz, sorgo y hortalizas. Ed. Pueblo y educación. La Habana Cuba, p. 180.
- Pierri, N. 2005. Historia del concepto de desarrollo sustentable. Guillermo *Foladori y Naina Pierri, coordinadores, Sustentabilidad, 27-81.*
- Porta J., López-Acevedo M. y Roquero C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ª Edición. Ediciones Mund-Prensa. Madrid, Barcelona y México. 849 pp.
- Programa de desarrollo de las Naciones Unidas en Cuba. 2009. Programa de Asociación de País. Proyecto 1. Fondo de Medio Ambiente Mundial. PNUD. ISBN: 978 959 287 021 5.
- Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas en México. 2010. Oficina de investigación en desarrollo humano. Índice de desarrollo humano.
- Raigón, M. D., Martínez, M. G., Guerrero, C., Esteve, P., & Domínguez-Gento, A. Influencia de la asociación de cultivo sobre la relación equivalente de suelo.
- Raigón, M. D., Martínez, M. G., Guerrero, C., Esteve, P., & Domínguez-Gento, A. 2006. Influencia de la asociación de cultivo sobre la relación equivalente de suelo. Séptimo congreso SEAE, Zaragoza, Núm. 159. España.
- Rev. Chapingo, vol.16 no.2 Chapingo jul./dic. 2010
- Rincon E., G. López P., Luis y Quinones-Aguilar, Evangelina E..Efectividad biológica in vitro de actinomicetos sobre el agente causal del tizón de halo en frijol. *Rev. fitotec. mex* [online]. 2014, vol.37, n.3, pp. 229-234. ISSN 0187-7380.
- Rodríguez, M. N. U., García, C. A., Valdés, L. F., Ricardo, M. P., & Pantoja, Y. A. (2011). Manual de procedimientos para manejo sostenible de tierras.
- Rodríguez, N., Florentino, A., Torres, D., Yendis, H., & Zamora, F. 2009. Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón. *Revista de la Facultad de Agronomía*,26(3).

- Román-Cortés, N., García-Mateos, M. D. R., Castillo-González, A. M., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, A. (2014). Componentes nutricionales y antioxidantes de dos especies de guaje (*Leucaena* spp.): un recurso ancestral subutilizado. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(2), 157-170.
- Roper, M. M., and A. N. Smith, 1991. Straw decomposition and nitrogenase activity (C₂H₂ reduction) by free-living microorganisms from soil: effects of pH and clay content. *Soil Biol. Biochem.* 23: 275-283.
- Ruiz-Careaga, J. E., Calderón, y V. Tamariz, 1999. Manual para la descripción de perfiles de suelos y evaluación del entorno. Textos BUAP. Puebla, México, 65 pp.
- Sánchez M. H., 1984. Origen, taxonomía y distribución de las pitayas en México.
- Sánchez-Hernández, R., Ramos-Reyes, R., Geissen, V., de Dios Mendoza-Palacios, J., de la Cruz-Lázaro, E., Salcedo-Pérez, E., & Palma-López, D. J. (2011). Contenido de carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico Mexicano. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 211-219.
- Sarandón, S. J., 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable*, 393-414.
- Shibu, J. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry systems*. 76: 1-10.
- SIAP (2014). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SAGARPA: Base de datos en línea. Consultado: *Agosto-septiembre*
- Siau, R. V. V. G. (1994). Conceptos, principios y fundamentos para el diseño de sistemas sustentables de producción.
- SIRE: CONABIO-CONAFOR Paquetes tecnológicos. México. 6p.
- Solano E. (2012): Geología del Estado de Puebla. INEGI.
- Solano, J. P. L., Cano, M. E. A., & Hernández, R. G. (2005). Diversidad genética en pitahaya (*Hlocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(3), 179-185.
- Stotzky, G., 1997. Soil as an environment for microbial life, In: *Modern soil microbiology*. Van Elsas, J. D., J. Trevors, T., and E. Wellington MH. (eds). Marcel Dekker, Inc. Pp:1-20.
- Suárez de Castro, F. (1980). Conservación de suelos.
- Then, K. H. (2011, December). The Effect of Compost Application to Improve the Red Pitaya Yield under Various Mixture Fertilizer Rates. In *International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits 1024* (pp. 189-192).

- Ticante R. J. A., 2000. Investigación edafológicas sobre el estado de degradación de agrosistemas cafetaleros y otros agrosistemas en la Sierra Norte de Puebla. Tesis de maestría. Postgrado en Ciencias Edafológicas, UNAM, México D.F.
- Ting, I. P., 1985 Crassulacean acid metabolism. *Ann. Rev. PlantPhysiol.* 36: 595-622
- Trucios C. R., González, M. R., Ramírez, G. D., Ávalos, J. E., & Paredes, J. C. (2013). Análisis sobre cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo. *Terra Latinoamericana*, 31(4), 339-346.
- Zárate Pedroche, S., 1994. Revisión del Género *Leucaena* en México. *Anales del Instituto de Biología – UNAM. Serie botánica*, 65 (2): 83-162.