



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E
INVESTIGACIÓN EN SUELOS



MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA
EL DESARROLLO SOSTENIBLE (MCADS)

***"PROPUESTA DE MANEJO INTEGRAL PARA UN ARREGLO
AGROFORESTAL, MANGO CON MAIZ EN CALLEJONES"***

Tesis

Que como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en
Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible**

Presenta:

OCIEL CONTRERAS DOMÍNGUEZ

Bajo la supervisión del:
Dr. Ranferi Maldonado Torres



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Chapingo, Texcoco, Edo de México, mayo del 2017

**PROPUESTA DE MANEJO INTEGRAL PARA UN ARREGLO
AGROFORESTAL, MANGO CON MAIZ EN CALLEJONES**

Tesis realizada por **OCIEL CONTRERAS DOMÍNGUEZ** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA
EL DESARROLLO SOSTENIBLE (MCADS)**

DIRECTOR:



Dr. Ranferi Maldonado Torres

ASESOR:



Dra. Rosa María García Núñez

ASESOR:



Dr. Mateo Vargas Hernández

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	viii
DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTOS	x
RESUMEN GENERAL	xii
GENERAL SUMMARY	xiii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.1.1 Objetivos particulares.....	3
3 MARCO TEORICO.....	4
3.1 Manejo integral	4
3.2 Factores que influyen en la producción agrícola	6
3.2.1 Cambio climático	6
3.2.2 Factores bióticos	7
3.2.3 Factores ambientales	8
3.2.4 Factores de manejo.....	12
3.2.5 Factores culturales y socioeconómicos.....	14
3.3 Sistemas agroforestales	16
3.3.1 Multifuncionalidad de los sistemas de producción agroforestal.....	18

3.3.2	Cultivo en callejones	19
3.4	Milpa intercalada con árboles frutales	21
3.5	Cultivo de mango.....	21
3.5.1	Poda.....	22
3.5.2	Riego.....	24
3.5.3	Fertilización	24
3.5.4	Estímulo de estados fenológicos en mango.....	27
3.6	Cultivo de maíz.....	27
3.7	Diagnóstico de fertilidad de suelo.....	28
3.8	Descripción del sitio.....	30
3.9	Literatura citada.....	33
4	ARTÍCULO CIENTÍFICO	38
	RESUMEN.....	38
	ABSTRACT	38
4.1	INTRODUCCIÓN.....	39
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS	40
4.2.1	Materiales.....	40
4.2.2	Métodos	40
4.2.3	Diseño de tratamientos	42
5	RESULTADOS Y DISCUSIONES	51
5.1	Diagnóstico de fertilidad química de suelo	51
5.2	Respuesta del maíz a la fertilización	55

5.2.1	Análisis estadístico de resultados en tratamientos de maíz	58
5.2.2	Comparación de medias de los tratamientos en maíz.....	60
5.3	Diagnóstico del análisis foliar de mango	63
5.3.1	Índices de balance Kenworthy	65
5.3.2	Resultados de unidades SPAD	69
5.3.3	Resultados de incrementos para altura de los árboles de mango.	72
5.3.4	Resultados de los incrementos en diámetro de los árboles de mango	74
6	CONCLUSIONES.....	76
7	PROPUESTA Y RECOMENDACIONES	77
8	BIBLIOGRAFÍA	79

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Rangos de suficiencia nutrimental foliar en mango (Aldana, 2011).	26
Cuadro 2. Tratamientos de fertilización aplicados al cultivo del maíz	44
Cuadro 3. Tratamientos para árboles de mango.....	47
Cuadro 4. Interpretación de los resultados de fertilidad del suelo de acuerdo a los intervalos de referencia (Molina y Meléndez 2002).....	52
Cuadro 5. Nivel de nutrimentos encontrados en el suelo.....	54
Cuadro 6. Fertilización para un rendimiento esperado de 9 t ha ⁻¹ de maíz.....	55
Cuadro 7. Resultados de los tratamientos aplicados al maíz	56
Cuadro 8. Estadísticos descriptivos de los resultados de los tratamientos para maíz	58
Cuadro 9. Tabla de comparación de medias de tratamientos.....	60
Cuadro 10. Interpretación de resultados de análisis foliar respecto a Medina-Méndez et al. (2014).....	63
Cuadro 11. Interpretación de resultados de análisis foliar respecto a (Aldana, 2011).....	64
Cuadro 12. Índices de balance Kenworthy (IBK) y orden de requerimiento nutrimental(ORN).....	65
Cuadro 13. Medias de unidades SPAD del conjunto de árboles de un tratamiento en la primera fecha (29-05-16).....	69

Cuadro 14. Medias de unidades SPAD del conjunto de árboles de un tratamiento en la segunda fecha (12-08-16).....	69
Cuadro 15. Comparación de medias de los incrementos en altura por tratamiento (cm).....	73
Cuadro 16. Incrementos medios en diámetro (mm) del primer entre nudo del injerto	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sitios de corte de acuerdo al objetivo de la poda (García, 2008).	23
Figura 2. Climograma de la estación meteorológica de Santiago Domingullo .	30
Figura 3. Comportamiento de la radiación solar en la latitud del sitio de estudio	31
Figura 4. Localización de la zona de estudio en el estado de Oaxaca	31
Figura 5. Imagen satelital de la zona de estudio.....	32
Figura 6. Muestra de suelo formado por 26 submuestras.....	41
Figura 7. Establecimiento de tratamientos de maíz	43
Figura 8. Primera fertilización de fondo en el cultivo de maíz	44
Figura 9. Elaboración de tratamientos	46
Figura 10. Pesaje y solubilización previa de los fertilizantes para cada tratamiento	48
Figura 11. Resultados de análisis químico del suelo y del análisis foliar	51
Figura 12. Arreglo agroforestal mango con maíz en callejones.	59
Figura 13. Medias de lecturas de unidades SPAD, del conjunto de datos por tratamiento en distinta fecha.	70
Figura 14. Árboles de mango con menos de un año de edad y con fruto	72

DEDICATORIA

Al universo por su inmensidad y energía que fluye para darnos vida. Por todo lo fascinante que hay en todos los rincones de este mundo.

A mis padres Ociel y Margarita por darme la vida y haber cuidado de mí siempre.
A mis hermanos Erik, Octavio, Edgar e Itzel, a todos mis prim@s que son como mis herman@s, porque juntos hemos aprendido de la vida

En especial a mi Abuelo Tereso que siempre demuestra su gran amor hacia mí.

Para Marce por su apoyo, paciencia y sus consejos, por compartir esta.

A todos los profesores de la maestría, Dra. M. Edna Sánchez Álvarez, Dr. Ranferi Maldonado Torres, Dr. Lara bueno, Dr. Miguel Uribe, Dr. Cristóbal, Acevedo, Dra. Rosita García Núñez, Dr. Artemio Cruz, Dr. Juan Antonio Leos Rodríguez, Dr. Dante Arturo Bosques, Dr. David Gómez entre otros, por sus buenas enseñanzas, sus consejos, por sus regaños y, pero sobre todo por su profesionalismo que me ayudaron a lograr un paso más en mi formación.

A mis compañeros de la maestría: Saudizaref Ruiz Moreno, Mario Alberto Campos Ugalde, Pascual Cruz Sánchez, Eder Audate e Hilario Caamal Canche, por los buenos momentos, experiencias compartidas dentro y fuera del aula.

A Dolores Coronel Sánchez y Norma Lilia Martínez Ramírez asistentes del posgrado de Agroforestería por su buena disposición en todo momento.

A todos mis amigos y amigas de Chapingo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo nacional de ciencia y tecnología (CONACYT), por el apoyo económico, sin el apoyo no hubiese sido posible este proyecto de superación académica.

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi segunda casa de la cual me siento orgulloso de pertenecer a esta noble institución por todo lo que me ha dado desde siempre, espero honrar con mis acciones y dejar en alto mi Alma Mater.

A la coordinación de posgrado, en especial a la Maestría en ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible, por darme las herramientas necesarias para marcar la diferencia en el desarrollo del pueblo de México. A la coordinadora Dra. María Edna Álvarez Sánchez, por su dedicación y empeño sobre el cumplimiento de las metas de nuestro posgrado.

A mi comité asesor, el Dr. Ranferi Maldonado Torres, a la Dra. Rosita García Núñez, al Dr. Mateo Vargas Hernández, gracias a cada uno por su apoyo y disposición, por sus aportaciones académicas, por sus consejos en el ámbito profesional y personal.

En especial a México lindo y querido...

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Nombre: Ociel Contreras Domínguez

Fecha de nacimiento: 27 de noviembre de 1985

Lugar de nacimiento: San José el chilar, Cuicatlán, Oaxaca

Nacionalidad: mexicano

Sexo: Masculino

CURP: CODO851127HOCNMC01

Correo: ocontrer_2711@hotmail.com

Tel. celular (236)109 32 91

Formación académica:

Preparatoria: Preparatoria Agrícola (Universidad Autónoma Chapingo), Texcoco, Edo de México, periodo 2001-2004.

Licenciatura: Ingeniero en recursos naturales renovables (Universidad Autónoma Chapingo), Texcoco, Edo de México, periodo 2005-2009.

Maestría: Maestría en ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible (Universidad Autónoma Chapingo), Texcoco, Edo de México, periodo enero 2015-mayo 2017.

RESUMEN GENERAL

PROPUESTA DE MANEJO INTEGRAL PARA UN ARREGLO AGROFORESTAL, MANGO CON MAÍZ EN CALLEJONES

Tesis de maestría en ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible, Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Ociel Contreras Domínguez, Director: Dr. Ranferi Maldonado Torres

La Agroforestería se enfoca al desarrollo de alternativas de producción agropecuaria diversificada, que sean sostenible e integrales con soluciones a la medida del agricultor. Se estableció un arreglo agroforestal mango con maíz en callejones en San José el Chilar, Cuicatlán, Oaxaca, como estrategia para amortiguar el proceso de transición de cambio de variedad del mango criollo “Obo” a la variedad Tommy Atkins de mayor valor comercial. Con base en un diagnóstico químico del suelo y de tejido vegetal se evaluaron tratamientos de nutrición en maíz y árboles de mango. En el maíz los tratamientos al 75 %, 100 %, 125 % y 150 % (T75, T100, T125, T150 respectivamente) de nutrición para un rendimiento esperado de 9 t ha⁻¹, sobre una densidad de 88,000 plantas ha⁻¹. El único tratamiento que mostró diferencias significativas en las variables rendimiento medio y peso medio de la mazorca fue el tratamiento T150. A pesar de haber aportado el 75, 100, 125 y 150 % de fertilizante no se logró rebasar el rendimiento esperado de 9 t ha⁻¹. Sin embargo, todos los tratamientos rebasaron los rendimientos medios de la región. De los tratamientos al 50, 100 y 150 % (T50, T100, T150 respectivamente) de nutrición sobre árboles Tommy Atkins de un año de edad, a densidad de 234 árboles ha⁻¹, se evaluó su efecto sobre crecimiento (altura y diámetro), contenido de clorofila (Unidades SPAD), Contenido nutrimental foliar, y sus índices de balance Kenworthy (IBK), en tres fechas diferentes. No se encontró DS entre las medias de los tratamientos para ninguna variable respuesta. Cubrir los niveles óptimos de fertilizantes (40 mg kg⁻¹ de fósforo y 60 mg kg⁻¹ N) en el área de exploración radicular de árboles de mango no mostró diferencia para las condiciones de estudio. El manejo integral contempla un profundo conocimiento del arreglo, de sus componentes, de los factores e interacciones, y demanda recursos.

Palabras clave: manejo integral, arreglo agroforestal, diagnóstico, nutrimentos

GENERAL SUMMARY

PROPOSAL FOR AN INTEGRAL MANAGEMENT FOR AN AGROFORESTRY ARRANGEMENT, MANGO WITH MAIZE IN ALLEYS

Tesis de maestría en ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible, Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Ociel Contreras Domínguez, Director: Dr. Ranferi Maldonado Torres

Agroforestry focuses on the development of diversified agricultural production alternatives which are sustainable and integrated with solutions tailored to the farmer. A mango-maize alley cropping arrangement was established in San José el Chilar, Cuicatlán, Oaxaca as a strategy to cushion the transition from the local “Obo” mango variety to the more commercially valuable Tommy Atkins. Based on a chemical diagnosis of the soil and plant tissue, nutrition treatments in maize and mango trees were evaluated. In maize, nutrition treatments at 75%, 100%, 125% and 150% (T75, T100, T125, and T150 respectively) were applied for an expected yield of 9 t ha⁻¹, over a density of 88,000 plants ha⁻¹. The only treatment that showed meaningful differences in the average corn cob yield and weight variables was the T150 treatment. Despite having applied 75, 100, 125 and 150 % fertilizer, it was not possible to exceed the expected yield of 9 t ha⁻¹. Nevertheless, all the treatments exceeded the average yields of the region. In the 50, 100, and 150 % nutrition treatments (T50, T100, T150 respectively) applied to one-year-old Tommy Atkins trees established at a density of 234 trees ha⁻¹, their effect on growth (height and diameter), chlorophyll content (SPAD Units), foliar leaf content and their Kenworthy balance indices were evaluated at three different dates. No SD was found among the means of the treatments for any variable response. Applying optimal fertilizer levels (40 mg kg⁻¹ of phosphorus and 60 mg kg⁻¹ N) in the radicular exploration area of the mango trees did not show any difference for the study conditions. Integrated management involves a deep knowledge of the arrangement, its components, factors and interactions, and requires resources.

Keywords: integrated management, agroforestry arrangement, diagnosis, nutriment

1 INTRODUCCIÓN

El manejo integral de los sistemas agroforestales se inicia con el establecimiento de objetivos claros y una adecuada planeación del arreglo de las especies que se desarrollan en el sistema. El desarrollo contiene la implementación de estrategias y prácticas de manejo basadas en el conocimiento técnico y científico, integrando prácticas en el estado fisiológico y fenológico de los cultivos asociados, manejo de factores y elementos del medio biofísico que interactúan con el cultivo que integra las características culturales y socioeconómicas del agricultor. Todas estas prácticas, componentes, factores y elementos que influyen e interactúan en el sistema deben planearse de manera racional para mantener el balance del sistema y cumplir los objetivos del agricultor de manera sostenible.

Con los arreglos agroforestales se logra incrementar la productividad de la tierra mediante cultivos asociados. El cultivo en callejones es un arreglo agroforestal donde se asocian árboles con cultivos anuales, donde se diversifica la producción y se aumenta la productividad por unidad de superficie (SAGARPA, 2012). La Agroforestería cumple múltiples propósitos a corto, mediano y largo plazo, entre los que destaca, la soberanía y seguridad alimentaria de las familias rurales, mediante el incremento de ingresos (Cortes *et al.*, 2005), otros beneficios son la producción de forraje, autoempleo, conservación de recursos fitogenéticos, y múltiples servicios que demuestran la multifuncionalidad de la agricultura rural (FAO, 2001).

El arreglo de mango Tommy Atkins a media densidad con maíz en callejones tiene como propósito resolver parte de la problemática actual de agricultura en la comunidad de San José el Chilar, Cuicatlán, Oaxaca; problemática que implica la pérdida de al menos el 50 % de la producción anual de mango “Obo”; variedad

criolla de bajo valor y poca aceptación comercial. Con plantaciones improductivas de al menos 50 años y más de 15 m de altura, que dificultan el manejo (Contreras, 2013). Por lo que se requiere renovar plantaciones y cambio de variedad, anexando el cultivo de maíz en callejones para cubrir a corto plazo el grano básico de la alimentación familiar y mantener parte de la seguridad y soberanía alimentaria del agricultor, con ingresos extras aprovechando en espacio y tiempo la parcela durante el proceso de transición, renovación y cambio de variedad.

El arreglo agroforestal se manejó con prácticas racionales apropiadas a los factores que intervienen en el sistema y de sus interacciones que influyen sobre las condiciones y requerimientos del cultivo. Un componente relevante a manejar es el suelo y sus propiedades químicas, debido a su importancia y capacidad de mantener, y proporcionar los elementos nutritivos necesarios para sostener vida. De aquí se deriva la importancia de asegurar en el suelo la cantidad y calidad de nutrimentos disponibles, que el cultivo tenga la posibilidad de desarrollarse y expresar su potencial genético, produciendo frutos abundantes y de excelente calidad (Avilán-Rovira & Rengifo-Álvarez, 1992).

En la parcela se evaluó el efecto en rendimiento y productividad de cuatro tratamientos de nutrición en maíz. Se evaluaron además tres tratamientos de nutrición y su efecto sobre altura, unidades SPAD y diámetro en árboles de mango. Se generaron propuestas de manejo integral para el arreglo intensivo de mango con maíz en callejones.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Establecer un arreglo agroforestal y su propuesta de manejo integral para el cultivo de mango con maíz en callejones, bajo la implementación de prácticas y técnicas de manejo racional basadas en el diagnóstico de fertilidad química del suelo, con el propósito de incrementar la productividad de la tierra, cumpliendo de manera sustentable los objetivos del agricultor

2.1.1 Objetivos particulares

- Proponer prácticas y técnicas integrales al manejo de los sistemas de producción mango con maíz en callejones, incrementando la densidad para los cultivos asociados
- Diagnosticar la fertilidad química del suelo, y el contenido nutrimental en el tejido vegetal, evaluar la respuesta de los tratamientos recomendados de nutrición en el sistema de producción mango con maíz en callejones, cuantificando su efecto sobre el rendimiento del maíz
- Evaluar la respuesta a los tratamientos de nutrición en el crecimiento en diámetro y altura de los árboles de mango, contenido de clorofila, y contenido nutrimental en el tejido vegetal
- Analizar los resultados del diagnóstico, resultados de tratamientos, para generar propuestas de manejo integral apropiadas al arreglo de producción mango con cultivo en callejones

3 MARCO TEORICO

3.1 Manejo integral

El manejo integral de los sistemas agroforestales tiene como objetivo la buena planeación del arreglo de los cultivos, la implementación de estrategias de prácticas de manejo basadas en el conocimiento técnico y científico del estado fisiológico y fenológico acorde a los factores del medio biofísico y socioeconómicos del agricultor que interactúa con el cultivo. Todas estas prácticas, componentes, factores y elementos que influyen e interactúan en el sistema deben planearse de manera racional para mantener el balance del mismo y cumplir los objetivos del agricultor de manera sostenible.

El manejo integrado se puede enfocar a mejorar la calidad del suelo, aumentar la cobertura de los suelos, aumentar la materia orgánica del suelo, aumentar la infiltración y la retención de humedad, reducir la escorrentía, mejorar las condiciones de enraizamiento, mejorar la fertilidad química y la productividad, reducir los costos de producción, proteger las parcelas, reducir la contaminación del suelo y del ambiente (Montiel & Ibrahim, 2016). El suelo es un sistema natural de gran complejidad en términos de los procesos físicos, químicos y biológicos. Estos procesos mantienen la vida de otros ecosistemas, los ciclos de nutrientes y ciclos del agua y, por lo tanto, favorecen la sobrevivencia humana (Montiel & Ibrahim, 2016).

Es importante elevar la conciencia de la sociedad civil y de los responsables de tomar decisiones sobre la importancia del suelo para la seguridad alimentaria, la adaptación al cambio climático, la mitigación de gases efecto invernadero, los servicios eco sistémicos esenciales, la reducción de la pobreza y el desarrollo sostenible para la vida humana. En el caso del sector social los agricultores deberán estar dispuestos a cambiar algunos de sus paradigmas, para adoptar nuevas técnicas y mejorar las ya existentes

El conocimiento tradicional deberá ser respaldado con conocimiento técnico y científico, dirigidos a resolver problemas mediante prácticas propuestas con base al conocimiento, convirtiéndola en parte de su trabajo diario.

El suelo es un sistema natural de gran complejidad en términos de los procesos físicos, químicos y biológicos. Estos procesos mantienen la vida de otros ecosistemas, los ciclos de nutrientes y ciclos del agua y, por lo tanto, favorecen la sobrevivencia humana (Montiel & Ibrahim, 2015).

Los componentes del arreglo agroforestal, y los factores que intervienen son diversos. Se conocen múltiples prácticas para intervenir o transformar los factores que inciden sobre los componentes del sistema y que sirven para condiciones y momentos específicos. Por lo tanto, se debe contar con conocimiento especializado y dedicación, capital y mano de obra para intervenir oportunamente.

Dentro de la multifuncionalidad de la agricultura se tiene el paisaje y su manejo integrado, que se refiere a la colaboración de largo plazo entre diferentes grupos de gestores del suelo, para alcanzar los múltiples objetivos requeridos. El paisaje se debe manejar como una unidad integral, con el fin de unir el enfoque de producción con el de conservación. Asimismo, este enfoque implica la planificación de objetivos alcanzables de uso de suelo, sobre los conflictos del uso de la tierra, mediante un acuerdo negociado entre las partes sobre los distintos usos de suelo para lograr soluciones “ganar-ganar” (Agostini, 2015).

El manejo integrado respecto a plagas se define como la aplicación racional de medidas biológicas, biotecnológicas, químicas, de cultivos o selección de vegetales que hacen que el uso de agroquímicos se limite al mínimo necesario para mantener la población de plagas en niveles inferiores a los que producirían daños o pérdidas económicas inaceptables, combinar las estrategias de reducción de la densidad poblacional del fitófago y reducción de la susceptibilidad de la planta es la acción más conveniente, siempre que sea posible. Implica la

consideración de tres niveles del ecosistema agrícola: el cultivo, las plagas asociadas y los organismos de las plagas, es decir, sus enemigos naturales (Pérez, 2006).

Vivas *et al* (2015) define el manejo integrado de plagas como la selección y aplicación racional de diversas técnicas de control que sean compatibles y que aseguren un beneficio económico, ecológico y social. Se basa en la idea de convivir con el insecto sin permitirle que alcance niveles poblacionales que dañen los cultivos lo cual haría necesario llevarlo a cabo una medida de control para abatir dicha población. Las acciones que se basan en el MIP deben ser decididas y supervisadas por un especialista, pues se basan en: las interacciones plaga-planta-suelo-agua-clima-manejo agronómico; una planeación a nivel regional, municipio o cuenca fisiográfica; utilización de todos los métodos de control posible que sean económicamente redituables y biológicamente compatibles; el mantenimiento de la población de insectos benéficos; y análisis de riesgos.

3.2 Factores que influyen en la producción agrícola

De los factores bióticos, abióticos, económicos, socioculturales y de manejo agronómico que impactan sobre los sistemas de producción agrícola, algunos influyen en mayor o menor medida dependiente de las condiciones que se presenten antes y durante el desarrollo del cultivo.

3.2.1 Cambio climático

El cambio climático es una amenaza global que ha causado preocupación entre los científicos ya que es una variable clave para el crecimiento de los cultivos (por ejemplo: precipitación, temperatura, humedad atmosférica, etc.) que afecta severamente la producción agrícola. Estos cambios anticipados pueden tener grandes efectos en zonas tropicales en países en desarrollo con regímenes de precipitación que se encuentran entre semiárido y húmedo (Cline, 2007). Los peligros incluyen el incremento en las inundaciones en las áreas bajas, mayor frecuencia y severidad de sequías y calor excesivo en áreas semiáridas,

condiciones que en su conjunto pueden limitar el crecimiento de los cultivos y sus rendimientos (Howden, 2007).

Los patrones alterados del viento pueden dispersar bacterias y hongos y por lo tanto la diseminación de enfermedades en las plantas. Los posibles aumentos en infestaciones debidas a plagas y enfermedades pueden provocar el uso de pesticidas químicos para controlarlos, situación que incrementará costos de producción y también problemas ambientales asociados al uso de agroquímicos tóxicos (Cline, 2007).

La estrategia seguida por los pequeños agricultores es la utilización de policultivos, Agroforestería u otras formas de sistemas diversificados, lo que permite prevenir las infestaciones de insectos ya sea porque una cosecha puede ser plantada como hospedero diverso, protegiendo otros cultivos más susceptibles o económicamente más valiosos o porque los cultivos que crecen simultáneamente promueven la abundancia de predadores y parásitos que regulan en forma biológica las densidades de plagas (Altieri & Nicholls, 2008).

Es necesario promover sistemas agropecuarios que sean poli-funcionales, es decir, sistemas más productivos y diversos, que permitan mejorar las condiciones del suelo y la eficiencia de utilización de los nutrientes y el agua, de manera que favorezcan los servicios eco sistémicos para coadyuvar a mitigar las emisiones de CO₂ y N₂. De esta forma, se aumenta la capacidad de resiliencia de los sistemas productivos al cambio climático (Montiel & Ibrahim, 2015).

3.2.2 Factores bióticos

En Centroamérica se estima que en cultivo de maíz las pérdidas de las cosechas en campo, causadas por los insectos (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith y *Lepidoptera: Noctuidae*) son 20-35 % (Andrews, 1989). Algunos estudios indican que las plagas de insectos serán más abundantes a medida que la temperatura aumenta, con un número de procesos correlacionados, incluyendo las posibilidades de extensión y cambios fenológicos, así como índices crecientes

del desarrollo de población, crecimiento, migración e hibernación (Altieri y Nicholls, 1999). El manejo integrado de plagas requiere el establecimiento del nivel de daño económico (NDE) y el umbral económico (UE). El nivel de daño económico es la densidad del insecto que ocasiona un daño al cultivo igual al costo de las medidas para su control, es decir, el número más bajo que causará pérdidas económicas; y define el punto de ruptura entre las pérdidas debidas al daño de la plaga y los costos del control. El umbral económico es la densidad operacional de la plaga, el punto donde deben iniciarse las medidas de control para evitar que se alcance el nivel de daño económico. Se han propuesto decenas de umbral económico para *S. frugiperda*, que oscilan entre 10-50% de plantas infestadas (Fernández, 2002).

3.2.3 Factores ambientales

Las plantas están expuestas constantemente a factores ambientales como la temperatura del aire, el contenido de agua en el suelo, y algunos factores como las deficiencias minerales del suelo. El estrés se define normalmente como un factor externo que ejerce una influencia negativa sobre la planta y tiene una función importante en el modo en que el suelo y el clima limitan la distribución de las especies vegetales (tolerancia y adaptación). Por ello, la comprensión de los procesos fisiológicos que subyacen en el estrés por heridas, así como los mecanismos de adaptación y aclimatación de las plantas al estrés ambiental es de gran importancia para la agricultura (Taiz & Zeiger, 2006).

El estrés se mide con relación a la supervivencia de la planta, el rendimiento del cultivo, el crecimiento (acumulación de biomasa) o los procesos de asimilación primaria (incorporación de CO₂ y minerales) que están relacionados con el crecimiento (Taiz & Zeiger, 2006).

La adaptación y la aclimatación a ambientes estresantes es consecuencia de los diversos acontecimientos que se producen en los organismos a todos los niveles, desde el anatómico y morfológico, pasando por el celular, el bioquímico y el

molecular. Las respuestas celulares al estrés incluyen cambios en el ciclo celular y en la división celular, cambios en el sistema de endomembranas, en la formación de vacuolas, y cambios en la arquitectura de la pared celular, lo que conduce a un aumento de la tolerancia al estrés de las células. A nivel bioquímicos, las plantas alteran el metabolismo incluida la producción de compuestos osmo-reguladores con prolinas y glicinas betinas para adaptarse al ambiente (Taiz & Zeiger, 2006).

3.2.3.1 Estrés hídrico

A medida que el contenido hídrico de la planta disminuye, las células se encogen y las paredes celulares se relajan, esta reducción en el volumen celular da lugar a una menor presión de turgencia. Las actividades que dependen de la turgencia como expansión celular, expansión foliar y la elongación radicular son las más sensibles a las deficiencias hídricas. Un brote crecerá tanto como lo permita el factor limitante; por el contrario, las raíces crecerán hasta que su demanda de foto-asimilados al vástago iguale el aporte.

Una reducción del contenido en solutos de las células guarda da lugar a la pérdida de agua y de turgencia, lo que provoca el cierre estomático; la pérdida de solutos desde las células guarda puede activarse por un descenso del contenido hídrico de la hoja, y el ácido abscísico desempeña un papel importante en este proceso. El estrés hídrico reduce tanto la fotosíntesis como el consumo de los foto-asimilados en las hojas en expansión. (Taiz & Zeiger, 2006).

3.2.3.2 Estrés por calor o choque térmico

El agua y el estrés por altas temperaturas están interrelacionados; los brotes de la mayoría de las plantas C3 y C4 con un buen aporte de agua se mantienen a temperaturas inferiores a los 45 °C por el enfriamiento por evaporación. Si el aporte de agua se hace limitante, el enfriamiento por evaporación disminuye y la temperatura del tejido aumenta. En las plantas C3 y C4 la reducción de la

temperatura se produce generalmente por transpiración. Un grado moderado de estrés térmico reduce el crecimiento de toda la planta (Taiz & Zeiger, 2006).

La fotosíntesis como la respiración se inhibe a altas temperaturas, pero, a medida que la temperatura aumenta, las tasas fotosintéticas disminuyen más rápidamente que las tasas respiratorias. La temperatura a la cual la cantidad de CO₂ fijado por la fotosíntesis iguala a la cantidad de CO₂ liberado por la respiración es un periodo de tiempo dado se denomina punto de compensación térmico o punto de compensación de la temperatura. A temperaturas superiores a la del punto de compensación de la temperatura, la fotosíntesis no puede reemplazar al carbono usado como sustrato de la respiración. Como resultado, las reservas de carbohidratos se reducen, y las frutas y verduras pierden el sabor dulce, este desequilibrio entre fotosíntesis y respiración es una de las principales causas de los efectos perjudiciales de las altas temperaturas. La fotosíntesis es especialmente sensible a las temperaturas altas (Taiz & Zeiger, 2006).

3.2.3.3 Estrés por enfriamiento

Especies de origen tropical y subtropical son susceptibles al daño por enfriamiento, entre los cultivos sensibles al frío está el maíz. Las hojas dañadas por frío muestran inhibición de la fotosíntesis, reducción del transporte de carbohidratos, menor intensidad de respiración, inhibición de la síntesis de proteínas y aumento de la degradación de las proteínas existentes (Taiz & Zeiger, 2006).

3.2.3.4 Estrés por deficiencia de oxígeno

Las raíces normalmente obtienen suficiente O₂ para la respiración aeróbica directamente de los espacios gaseosos del suelo. Los poros llenos de gas de suelos bien drenados y bien estructurados permiten la difusión del O₂ gaseoso hasta profundidades de varios metros. El suelo puede estar inundado o encharcado cuando está pobremente drenado o cuando la lluvia o irrigación son excesivas. El agua entonces entra por los poros y bloquea la difusión de oxígeno

en fase gaseosa. Cuando las temperaturas son muy bajas y las plantas están en dormición, la reducción de oxígeno es muy lenta y relativamente poco perjudicial. Sin embargo, cuando las temperaturas son altas (mayores a los 20 °C), el consumo de oxígeno por parte de las raíces, fauna y los microorganismos del suelo pueden agotarlo en la mayor parte del suelo en tan solo 24 horas (Taiz & Zeiger, 2006).

Las plantas sensibles a la inundación se ven seriamente dañadas tras 24 horas anoxia. El crecimiento y la supervivencia de muchas especies vegetales se ven muy reducidos en estas condiciones y el rendimiento de las cosechas puede descender drásticamente. Los microorganismos anaeróbicos del suelo obtienen su energía de la reducción del nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-) o a óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno molecular (N_2). Estos gases (N_2O y (N_2) se pierden a la atmósfera en un proceso llamado desnitrificación. A medida que las condiciones se hacen más reductoras los microorganismos anaeróbicos reducen el Fe^{3+} a Fe^{2+} y debido a su mayor solubilidad, el Fe^{2+} puede alcanzar concentraciones tóxicas cuando los suelos están en condiciones anaeróbicas durante muchas semanas. Las raíces anóxicas o hipóxicas carecen de energía suficiente para mantener los procesos fisiológicos de los que dependen los brotes. Las hojas maduras envejecen prematuramente debido a la redistribución de los elementos móviles por el floema (N, P, K) hacia las hojas jóvenes. La hipoxia acelera la producción de etileno. El etileno produce la muerte y desintegración de las células en el córtex radicular. La mayoría de las plantas superiores no pueden sobrevivir a ambientes anaeróbicos durante mucho tiempo. Los ápices de las raíces del maíz, por ejemplo, son variables entre 20-24 horas si repentinamente son privados de oxígeno. En anoxia, se genera lentamente algo de ATP por fermentación y el nivel energético de las células se reduce gradualmente. Los ápices de las raíces de maíz y otros cereales muestran un modesto grado de aclimatación si primero sufren una hipoxia y después pueden sobrevivir más de 4 días en anoxia (Taiz & Zeiger, 2006).

3.2.4 Factores de manejo

El manejo depende de las características del cultivo (genéticas, fenológicas y fisiológicas), depende de las condiciones biofísicas, químicas, de recursos (capital, materiales y mano de obra) disponibles, y de la tecnología.

3.2.4.1 Densidad de siembra:

El maíz posee un elevado potencial de rendimiento muy sensible al estrés, característica que determina su marcada respuesta al correcto ajuste en el manejo agronómico. Su crecimiento está directamente relacionado con la capacidad capturar la luz solar incidente. El peso seco de la parte aérea de la planta de maíz depende de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada por el cultivo (Hernández & Soto, 2012). La cual también puede variar con la temperatura. Esa captura está en función de la estructura del cultivo y depende del tipo de planta, de la cantidad y de su distribución en el terreno, densidad de siembra (Cirilo, 2003).

A mayor eficiencia en el uso de la radiación conlleva a valores más elevados en la tasa de asimilación neta (TAN) y en los potenciales entre los órganos fuente y sumidero y por tanto a una mayor acumulación de biomasa en momentos próximos a la madurez fisiológica alcanzándose mayores rendimientos (Hernández & Soto, 2012). También se plantea que, para la mayoría de los cultivos, el rendimiento está positivamente relacionado con la duración del período del llenado del grano; los factores genéticos, climáticos y de manejo que permiten una mayor duración y un mantenimiento de la fotosíntesis durante este período son fundamentales en su aporte a un incremento del rendimiento final. Se puede deducir que una planta que alcance una mayor acumulación de biomasa en el período de floración dará un mayor rendimiento (Soto *et al.*, 2009)

La densidad de plantas es la herramienta más efectiva para mejorar la captura de luz. La cantidad de plantas necesarias para lograr plena cobertura es función del área foliar de cada una y de la disposición de sus hojas (erectas o planas).

Plantas poco foliosas y de hojas erectas requerirán densidades mayores para conseguir la cobertura total del suelo. El componente del rendimiento más afectado por la densidad es el número de granos que alcanzan la madurez. Este número se asocia con la capacidad de crecimiento de la planta durante la floración, cuando se determina la disponibilidad de asimilados para los granos en formación en ese período crítico para su supervivencia. A medida que el crecimiento por planta disminuye por incrementos en la densidad, la caída en el número de granos fijados en la planta se hace más abrupta. Ello responde al relegamiento en la asignación de asimilados dentro de la planta que sufre la espiga, debido a mecanismos de dominancia apical. Este comportamiento conduce a que se alcance un umbral de crecimiento mínimo por planta por debajo de los cual ulteriores incrementos en la densidad determinan su esterilidad (Cirilo, 2003).

3.2.4.2 Fecha de siembra

Cuando se retrasa la fecha de siembra de maíz, la floración se desplaza hacia momentos de menor irradiación, respecto de siembras más tempranas y, en consecuencia, el potencial de crecimiento de las plantas disminuye, y viceversa si el crecimiento coincide con momento de mayor irradiación, entonces el cultivo alcanza la madurez más rápido (Soto *et al.* 2009). El grado de respuesta del rendimiento a la variación en la densidad de plantas con el retraso de la siembra dependerá del ambiente. En siembras muy tardías, los efectos negativos del desplazamiento de la floración y el llenado de los granos hacia momentos menos favorables serán mayores cuanto más largo sea el ciclo del híbrido empleado (Cirilo, 2003).

3.2.4.3 Fertilización

En el manejo del cultivo del mango, la fertilización química constituye una de las prácticas más eficientes para asegurar a la planta la posibilidad de expresar su potencial genético de producir frutos abundantes y de excelente calidad.

La fertilización es un factor de significativa incidencia entre los costos variables de producción, representa entre un 20 al 25% de los costos. Pero contribuye a mejorar sustancialmente la producción y el ingreso del productor. La fertilización por restitución establece que debe devolverse al suelo lo extraído por las cosechas para que éste no pierda su fertilidad. Tomando como base la edad y el nivel de producción expresado por planta, se presentan los niveles mínimos y máximos de los elementos que se deben aplicar para restituir al suelo lo extraído por la cosecha. El nivel mínimo se corresponde con dos tercios de las necesidades de la planta y el máximo con el total de ellas. Los niveles de aplicación, en lo referente a los elementos fósforo y K, tomando como base los resultados de los análisis químicos de los suelos. Cuando el valor es alto se debe aplicar un tercio o nada de las dosis; si es medio, dos tercios de las dosis y cuando es bajo, la dosis completa. La aplicación de los fertilizantes se debe realizar a la salida de la cosecha de los frutos y posterior a la época de flotación. Se recomienda aplicar el fertilizante en la zona ubicada entre el nivel de la proyección de la copa y la parte media de la misma. Los elementos fósforo y K, presentan poca movilidad en el suelo, por eso se deben aplicar en las áreas de mayor concentración de raíces con el objeto de asegurar su utilización eficiente por parte de las mismas de preferencia enterrando el fertilizante. Se debe tomar en cuenta la fuente fertilizante para mejorar los resultados (Avilán-Rovira & Rengifo-Álvarez, 1992).

3.2.5 Factores culturales y socioeconómicos

La globalización, el calentamiento global, la transfronterización de plagas y enfermedades y el nuevo modelo económico mundial basado en conocimientos, están modificando la forma de producir y comercializar los alimentos. La demanda subordina a la oferta y el consumidor exige productos inocuos, de alta calidad y bajo precio. El que no pueda producir con estas características, de manera rentable y sustentable, saldrá del mercado y podrá ser sustituido por empresas eficientes y competitivas, nacionales o internacionales, debido a que

la comercialización mundial cada vez tiene menos barreras arancelarias y el dominio de los clústeres es cada vez mayor.

En un contexto de una fruticultura mexicana extensiva y poco rentable, pérdida de la seguridad alimentaria, degradación de recursos naturales, escases de agua, deficiente empleo, calentamiento global y aumento de pobreza, el mejoramiento de la competitividad de la fruticultura representa una de las mejores alternativas para contribuir a resolver la grave crisis nacional, por lo que es indispensable establecer las estrategias necesarias para revertir la situación actual.

Las mejores estrategias para fomentar una fruticultura competitiva y sustentable consisten en considerar las unidades de producción como empresas y promover una educación (cambio de actitudes) más pertinente de todos los actores, útil al sector productivo y que proponga soluciones integrales a los múltiples problemas rurales. De hecho, ya no es posible únicamente considerar los conocimientos tecnológicos para el manejo de las plantaciones, mientras no se trabajen los aspectos económicos y administrativos, no se podrá dar cuenta el fruticultor si su empresa le está dejando utilidades, ni podrá analizar cuáles son las prácticas que implican costos superfluos, no podrá mejorar su ingreso porque no se dará cuenta en donde puede hacer reducción de costos, economías de escala o mejorar la calidad de su fruta, o encontrar mejores mercados.

Pocas unidades de producción de frutales van a subsistir, si continúan trabajando de manera tradicionalista, excepto las que produzcan para autoconsumo. Los costos de los insumos se incrementan constantemente y los precios de venta reales de los productos frutícolas van a la baja. Por estas razones, es necesario que en las unidades de producción se implementen sistemas eficientes de planeación y manejo empresarial, donde el proceso administrativo sea el eje de la estructura organizativa y la constante innovación sea el motor de su competitividad.

Integración económica un proceso de creciente vinculación entre economías nacionales, que tiene lugar a partir de la reducción o eliminación de los obstáculos que impiden el desarrollo de los vínculos mutuos, con el propósito de obtener beneficios conjuntos en función de los intereses de los agentes económicos dominantes.

Dentro de las políticas nacionales relacionadas con el campo mexicano, se destaca el desarrollo rural sustentable, esto con la buena intención de elevar los niveles de vida de las personas y mejorar las condiciones de quienes habitan el espacio rural, no como una delimitación geográfica, sino como un conjunto de personas, cultura, territorio y actividades diversas (Torres, 2013).

3.3 Sistemas agroforestales

Son arreglos de producción que están ligados directamente en tiempo y espacio con diferentes factores que interactúan entre sí, entre los que destacan las especies asociadas, factores bióticos y abióticos, también encontramos factores socioculturales que influyen fuertemente en el funcionamiento y en los objetivos del arreglo. La diversidad agrícola es la base para garantizar el suministro mundial de alimentos, la supervivencia de cultivos y paisajes agrícolas, es el seguro de la humanidad contra futuras amenazas a la agricultura y la alimentación. Los sistemas de producción agroforestal son una alternativa para atender la problemática de insustentabilidad que aqueja la agricultura rural mexicana, es una forma de hacer uso eficiente de la parcela, aumentando la productividad por unidad de superficie, con un aprovechamiento sostenible de los recursos disponibles, mediante la planificación y asignación de objetivos en tiempo y espacio en la parcela, es de fácil adopción para los agricultores rurales ya que ellos realizan *Agroforestería* (SAGARPA, 2012).

La secretaria de agricultura define los sistemas agroforestales como formas de uso y manejo de los recursos naturales en los cuales, especies leñosas (árboles y arbustos), son utilizados en asociación deliberada con cultivos agrícolas y/o

con animales, en un arreglo espacial (topológico) o cronológico (en el tiempo) en rotación con ambos; existen interacciones ecológicas y económicas entre los árboles y los otros componentes de manera simultánea o temporal de manera secuencial, que son compatibles con las condiciones socioculturales para mejorar las condiciones de vida de la región (SAGARPA, 2012).

Krishnamurthy *et al.* (2003) define Agroforestería como el cultivo deliberado de especies leñosas perennes en la misma unidad de tierra que los cultivos agrícolas y/o la cría de animales ya sea en la forma de mezcla espacial o en secuencia temporal, y debe existir una interacción significativa (positiva y/o negativa) entre los componentes arbóreos y no arbóreos del sistema, ya sea en términos ecológicos y/o económicos.

Mendieta y Lester (2007) mencionan que la Agroforestería implica una serie de técnicas que incluyen la combinación, simultánea o secuencial, de árboles y cultivos alimenticios, árboles y ganado (árboles en los pastizales o para forraje), o todos los tres elementos. Incluye un conjunto de prácticas que implican una combinación de prácticas agropecuarias que se realizan en el mismo lugar y al mismo tiempo (prácticas simultáneas), o aquellas desarrolladas en el mismo sitio, pero en épocas diferentes (prácticas secuenciales). El “sitio” puede ser tan pequeño como un simple jardín o una parcela cultivada, o tan extenso como un área de pastizal.

Como ejemplo tenemos el sistema agroforestal quesungua, este sistema permite un uso integrado del suelo para incrementar la productividad, sostenibilidad y resiliencia biofísica. Evolucionó producto del conocimiento ancestral y consiste en mantener una alta cobertura boscosa con parches de cultivos. Los cuatro principios que rigen este sistema están dirigidos a la no corta y cero quemas, cobertura permanente del suelo, perturbaciones mínimas en el suelo durante las prácticas agrícolas y uso eficiente de fertilizantes. Este sistema permite un uso integrado del suelo para incrementar la productividad, sostenibilidad y resiliencia biofísica. Evolucionó producto del conocimiento ancestral y consiste en mantener

una alta cobertura boscosa con parches de cultivos. Los cuatro principios que rigen este sistema están dirigidos a la no corta y cero quemas, cobertura permanente del suelo, perturbaciones mínimas en el suelo durante las prácticas agrícolas y uso eficiente de fertilizantes (Castro et al. 2009, y Ayarza, 2015), citado en (Montiel & Ibrahim, 2016)

3.3.1 Multifuncionalidad de los sistemas de producción agroforestal

Multifuncionalidad, una de varias caras de la agricultura rural es el aporte de múltiples servicios, beneficios y productos para el resto de la población que no vive directamente en el medio rural pero que sí depende de la productividad y funcionamiento de la agricultura rural, a través de los procesos de abastecimiento, transformación comercialización de los productos agrícolas.

La FAO maneja conceptos como “carácter multifuncional de la agricultura y la tierra” (CMFAT), comprende una gama de funciones ambientales, económicas y sociales de la agricultura. Abarca múltiples bienes, beneficios y servicios generados por la agricultura, y la correspondiente utilización de la tierra. Tales como las externalidades positivas producidas por las actividades agrícolas: protección de la cuenca hidrográfica, control de las inundaciones, restablecimiento de los mantos freáticos, conservación (suelos, biodiversidad y hábitat de la vida silvestre), espacios abiertos, panoramas (paisajes agrícolas), y aislamiento de la congestión. También se tienen externalidades negativas en el medio ambiente: pérdida de nutrientes, escurrimiento de plaguicidas, reducción de la protección de la cuenca hidrográfica, menor control de las inundaciones, erosión de los suelos, pérdida de biodiversidad, pérdida de hábitat de la vida silvestre, malos olores, etc. (FAO, 2001).

Las funciones que desempeña la actividad agrícola y agropecuaria en México, han quedado asentadas en uno de los 11 estudios que desarrollo en el 2006 la FAO en el marco del proyecto ROES de la agricultura. Mediante unos análisis relacionados exclusivamente en los sistemas agrícolas convencionales se llegó

a la conclusión de que el campo y los productores en México cumplen 5 funciones indirectas y una más reservada a aquellos manejados orgánicamente: Reducción de pobreza, reducción de vulnerabilidad en tiempos de crisis, creación de redes de seguridad, viabilidad social, preservación cultural, y cuidado del medio ambiente (Bautista, 2008).

La degradación de los suelos tiene implicaciones multidimensionales y multisectoriales y ciertamente su abordaje debe darse de forma integrada, donde se tomen en cuenta todos los bienes y servicios eco-sistémicos, tanto biofísicos como socioeconómicos (FAO, 2001). Cuando se buscan alternativas para suelos degradados, es necesario entender el contexto donde se está trabajando para diseñar e implementar opciones tecnológicas, políticas e incentivos económicos que realmente mejoren la productividad y la calidad del suelo y permitan aprovechar la agro-biodiversidad, generar indicadores de resiliencia biofísica, socioeconómica y cultural, optimizar el uso de las nuevas tecnologías digitales de percepción remota y analizar los riesgos agroclimáticos de manera temprana (Montiel & Ibrahim, 2015).

3.3.2 Cultivo en callejones

Es un arreglo agroforestal que consiste en la asociación de árboles frutales o maderables y arbustos (perennes), intercalados en franjas o callejones con cultivos anuales. Los árboles y arbustos reciben prácticas de manejo para reducir la interacción de competencia por radiación, agua, nutrientes y espacio, sobre los cultivos anuales. La selección de cultivos a asociar se determina desde la planeación donde se elige establecer especies agrícolas con interacción positiva que potencialicen la productividad de la tierra; Integrando materia orgánica, brindando protección al suelo y al cultivo anual, fijando nitrógeno (leguminosas), etc.

En el arreglo cultivo en callejones se diversifica la producción, se consume menos insumos externos, se hace uso intensivo de la tierra, se aumenta la productividad

por unidad de superficie, y la diversificación de la producción reduce los riesgos económicos (SAGARPA, 2012).

3.3.2.1 Características de cultivos en callejones

El sistema de producción en callejones tendrá la mayor posibilidad de éxito en suelos razonablemente fértiles, donde no hay problemas de erosión, lugares relativamente húmedos donde hay poca competencia por agua, donde los precios de los productos son altos, donde el costo de mano de obra es bajo, en relación con el costo de fertilizantes.

Es importante la selección apropiada de las especies que se van asociar. Se recomienda árboles con raíces pivotante profundas para mejor coexistencia en el sistema. Se sugiere sembrar árboles más densamente en el surco y utilizar plantas anuales C3 en lugar de C4. La época de siembra, fertilización, control de malezas, densidad de siembra, arreglo espacial, prácticas de protección, son aspectos a considerar para el cultivo en callejones (Jiménez & Vargas, 1998).

Las plantas que poseen la vía C4 tienen tasas de fotosíntesis neta más elevadas que las plantas C3 (Leguizamón, 2008).

Para definir algunas características deseables de un árbol para cualquier tipo de sistema, es importante conocer y tener previsto cual sería la principal función (definir objetivos). En cuanto a cualquier tipo de sistema agroforestal, el resultado principal de la incorporación de árboles a los cultivos anuales debe poseer una clara finalidad en el sentido económico para ser atractiva e interesante para los agricultores. Ya que, al establecer árboles se reduce el espacio disponible para el cultivo, lo cual es inconveniente dentro del sistema. Para conseguir un resultado importante y seguro en sistemas asociados, los árboles podrían aportar un producto equivalente o incrementar la cosecha por lo menos a mediano plazo

3.4 Milpa intercalada con árboles frutales

Milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), es un sistema agroforestal de cultivo intercalado, constituido por tres especies, el árbol frutal (epicultivo), el maíz (mesocultivo) y frijol u otra especie comestible, de preferencia leguminosa (sotocultivo) en intensa interacción agronómica y que tiene como propósitos, la producción de maíz y frijol como elementos estratégicos para la seguridad alimentaria de las familias rurales, incrementar de manera significativa el ingreso neto familiar, incrementar el contenido de materia orgánica, controlar la erosión hídrica del suelo y con ello lograr un uso más eficiente del agua de lluvia. A corto, mediano y largo plazo.

Para éste patrón de cultivos, en el caso del maíz se recomienda una densidad de población de 20 mil, y para frijol de 30 mil plantas para 0.3 ha de cada cultivo. Las fórmulas de fertilización “generales” recomendadas son la 50-23-00 en promedio para maíz y la 20-20-00 en frijol (kg/0.30 ha de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente). En maíz, se aplica un tercio del nitrógeno y todo el fósforo en la siembra y los dos tercios restantes de N en la segunda labor de cultivo. En frijol, se aplica todo el fertilizante al momento de la siembra. (Cortes *et al.*, 2004).

3.5 Cultivo de mango

El mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los frutos de mayor importancia a nivel mundial, ocupa el quinto lugar dentro de los principales productos frutícolas. Es originario del Noroeste de la India, de la Región Indo-Birmánica y las montañas Chittagong en Bangladesh. Se ha cultivado por más de 4,000 años en la India, de donde se dispersó a otras áreas tropicales y subtropicales del mundo. En México se cultiva una superficie de 163,805 hectáreas, con una producción de 1,469,403 toneladas anuales que representa 6.1% de la producción mundial. Se consume en el mercado interno el 86% de la producción, mientras que el 14% se destina al mercado de exportación. Los principales estados productores de

mango son Veracruz, Sinaloa, Chiapas, Nayarit, Oaxaca, Michoacán, Tabasco, Jalisco, Colima, Guerrero, Tamaulipas y San Luis Potosí (Munro, 2005).

En el cultivo de mango, los usos de paquetes integrales con prácticas culturales para el funcionamiento de estos sistemas son: la poda, el riego, la fertilización, la aplicación de retardantes del crecimiento al suelo y la aspersión al follaje de estimuladores de la brotación. La diferencia de esta tecnología en comparación con la tradicional es que cada práctica sea realizada en momentos específicos para favorecer o inhibir un determinado proceso fisiológico del árbol. Una ventaja de estos sistemas de manejo es que permiten manipular el crecimiento vegetativo y la floración y obtener cosechas fuera de la época normal (Vázquez-Valdivia *et al.*, 2009).

3.5.1 Poda

La poda es fundamental durante toda la vida del árbol. La primera poda debe realizarse a 80 cm desde la base de la planta hacia arriba, de 3 a 4 meses después del trasplante, según el tipo de suelo, al disminuir la precipitación (Reyes *et al.* 2013), para formar una copa adecuada bien distribuida, con ramas fuertes, bien ubicadas y para tener una adecuada ramificación. La poda de formación es necesario realizarla con cierta frecuencia durante los primeros tres años de

desarrollo de la planta. El objetivo de esta poda es dar al futuro árbol una estructura adecuada que soporte toda la parte aérea (Vázquez et al, 2010).



Figura 1. Sitios de corte de acuerdo al objetivo de la poda (García, 2008).

Existen dos criterios para hacer el primer corte, podar arriba o abajo del nudo. Cuando se poda arriba del nudo, surgen varias ramas, dependiendo del vigor de la planta pueden surgir 5 a 7 o más nuevos brotes con vigor más o menos homogéneo, cantidad exagerada para formar la nueva copa, en este caso todos los nuevos brotes surgen alrededor de un mismo nudo. Tres o cuatro ramas son suficientes para formar la nueva copa, es por ello que la cantidad de ramas sobrantes tienen que ser eliminadas, se escogen las ramas más vigorosas y que estén bien distribuidas, factor fundamental para formar una copa balanceada (Vázquez et al., 2010).

La poda en particular promovió la formación de mayor número de brotes vegetativos. La longitud de los brotes de los árboles testigo fue mayor que los árboles con poda más pacobutrazol (PBZ) atribuyendo a este último un efecto reductor en el crecimiento de los brotes. En consecuencia, los árboles testigo (sin podar) fueron los que desarrollaron mayor altura y diámetro de la copa. Con

cualquiera de los tratamientos de manejo integral (MI) fue posible adelantar la floración y la cosecha al menos en 30 días, en comparación con el testigo. Así mismo el rendimiento se incrementó en un 100 % con el MI respecto al testigo. El peso promedio de los frutos no fue afectado por los tratamientos evaluados (Vázquez *et al.*, 2009).

3.5.2 Riego

El árbol de mango es resistente tanto a sequías como ha terrenos inundados. Sin embargo, parte del manejo integral contempla control de riegos, ya que algunos procesos fenológicos son estimulados por la presencia o ausencia de humedad en el suelo, debido a esto es importante el control de riegos dependiendo del estado fenológico que se busca estimular. Ejemplo: la brotación de nuevas hojas se estimula con riegos frecuentes; Se puede estimular la floración omitiendo los riegos (Espinosa *et al.*, 2006).

3.5.3 Fertilización

En el cultivo del mango, la fertilización constituye una de las prácticas más eficientes para asegurar a la planta la posibilidad de expresar su potencial genético de producir frutos abundantes y de excelente calidad. La finalidad de la fertilización es poner a disposición de las plantas la cantidad necesaria, y en el momento adecuado, aquellos elementos minerales esenciales presentes en el suelo a niveles insuficientes, para que éstas puedan realizar sus funciones vitales; y, por otra parte, restituir al suelo las extracciones que realizan las cosechas (Avilán-Rovira & Rengifo-Álvarez, 1992).

El árbol de mango es tolerante a diversas condiciones de fertilidad. Sin embargo, un buen programa de fertilización es fundamental para el crecimiento vegetativo de la plantación, para obtener buenos rendimientos y frutas de excelente calidad. Un buen programa de fertilización del cultivo de mango, es basándolo en el análisis químico del suelo, y del análisis del tejido foliar.

Aportes de algunos elementos en el desarrollo de árboles de mango: Nitrógeno; Mayor vegetación y crecimiento, estimula la formación y el desarrollo de yemas florales y fructíferas. Es componente de aminoácidos, proteínas, otros compuestos nitrogenados, vitaminas y pigmentos. Fósforo; Aumenta la formación de raíces, acelera la maduración de los frutos, y aumenta el contenido de aceite, carbohidratos y proteínas. Además, forma parte de los componentes energéticos de la planta (ATP). Potasio; Estimula la vegetación y el crecimiento, aumenta el contenido de carbohidratos, proteínas, estimula el llenado de los frutos, promueve el almacenamiento de azúcar y almidones, Aumenta la resistencia a sequías, heladas, plagas y enfermedades y aumenta el transporte de foto asimilados a los sitios de reserva y al fruto. Calcio; Estimula el desarrollo de las raíces y de la estructura de las paredes y membranas Celulares. Se presenta en la formación de células nuevas. El Ca se encuentra en la pared celular en forma de pectato de calcio contribuyendo a la rigidez de la misma. Magnesio; Colabora en la absorción del fósforo, constituyente de la clorofila y el mayor Activador de enzimas (FHIA, 2009).

Wolfe *et al.* (1969) determinaron que los niveles adecuados para el mango según el análisis foliar varían de 1.2 g kg^{-1} a 1.4 g kg^{-1} para el N, de 0.1 g kg^{-1} a 0.2 g kg^{-1} para el caso del P, K de 1.0 g kg^{-1} a 1.2 g kg^{-1} y para el Mg de 0.3 g kg^{-1} a 0.6 g kg^{-1} . (Citado en, Nain, 2013).

Por su parte Young y koo (1969) indican como adecuadas las siguientes concentraciones: N de 1.0 g kg^{-1} a 1.5 g kg^{-1} , P de 0.08 g kg^{-1} a 0.17 g kg^{-1} , K de 0.3 g kg^{-1} a 0.8 g kg^{-1} , Ca de 2.0 g kg^{-1} a 3.5 g kg^{-1} , Mg 0.15 g kg^{-1} a 0.4 g kg^{-1} , Mn de 73 mg kg^{-1} a 183 mg kg^{-1} , Cu de 21 mg kg^{-1} a 43 mg kg^{-1} , Fe de 38 mg kg^{-1} a 120 mg kg^{-1} y Zn de 56 mg kg^{-1} a 119 mg kg^{-1} para hojas de seis meses de edad (Citado en, Nain, 2013).

El N y el K se encuentran en gran cantidad tanto en el fruto como en la semilla (Gontijo, 1982). Se ha estimado que la extracción de ambos elementos es del orden de 5.1 y 6.5 kg t^{-1} de frutos frescos, respectivamente (Avilán *et al.* 1980).

El N es quizá uno de los elementos más necesarios en el crecimiento y productividad del mango, su deficiencia se presenta como una clorosis en sus hojas más viejas (Gontijo, 1982) citado en (Avilán-Rovira & Rengifo-Álvarez, 1992).

Cuadro 1. Rangos de suficiencia nutrimental foliar en mango (Aldana, 2011).

N	S	P	K	Mg	Ca	Na	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Porcentaje (%)								Partes por millón (mg kg ⁻¹)			
1	0.15	0.1	0.8	0.15	1.5	0.01	25	20	50	50	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.35	0.35	1.5	0.5	5	0.1	50	50	100	200	20

La deficiencia de N puede acentuar la tendencia hacia producción bianual (alternancia), como resultado de la competencia que se establece entre el crecimiento y el fructificación (Gues 1973), Citado en (Vega & Molina, 1998).

Estudios en la india mostraron que la aplicación de N aumento el crecimiento vegetativo, el número de inflorescencias y mantuvo una producción anual más regular en los árboles en plena producción (Chandler 1962, Gontijo 1982). Por tal motivo, la respuesta a la aplicación de N se refleja en el rendimiento (Citado en Vega & Molina, 1998).

Avilán-Rovira & Rengifo-Álvarez (1992) sugieren para árboles de 2 años de edad una dosis de fertilización por planta de 20-25 g de N, de 10-12 g de fósforo, de 25-30 g de potasio, en una relación de 1.0-0.5-1.2. Con promedios de 2.1 m de altura, con un radio a de 0.44 m y un radio b 0.8 m. Con producción de 4 kg árbol⁻¹ (10 frutos por árbol).

Bertsch (2009) determinó que una tonelada de mango absorbe 1.6-0.3-2.2 kg de NPK. Dentro del mismo estudio se citó a (Rios y Corella, 1994) y mencionan que una tonelada mango de la variedad Tommy Atkins absorbe 1.7-0.3-2.5 kg.

3.5.4 Estímulo de estados fenológicos en mango

El flujo vegetativo está influenciado por las condiciones de clima (temperatura atmosférica y humedad del suelo), por la fertilización nitrogenada y su disponibilidad. La época para estimular el crecimiento vegetativo debe ser definida en función al periodo en que se pretenda obtener la cosecha, debido a la maduración que requieren los brotes para tener mejor respuesta en floración y producción de fruta.

El mango Tommy atkins necesita periodos de descanso de 6-7 meses (edad del brote), Se debe tener la certeza de que en los árboles se ha presentado efectivamente un descanso. Si no se logró el periodo de descanso señalado, se sugiere retrasar la inducción (nitrato de potasio del 2-4%) hasta que se tenga la madurez suficiente en la mayoría de los brotes, lo cual limita la posibilidad de cosecha temprana, pero puede potenciar la floración que ocurre de manera natural y obtenerse mayores rendimientos que pueden compensar las bajas expectativas de precios (Espinosa *et al.*, 2006).

3.6 Cultivo de maíz

El territorio mexicano es la cuna del maíz (*Zea mays L.*), en él se originó hace miles de años por la acción de sus pobladores, y de la mano de ellos, enlazada con su cultura, se fue diversificando, adaptándose a las distintas condiciones ambientales, así como a los sistemas muy variados y usos diversos, actualmente se le cultiva en todo el país y es la base de la alimentación de toda la población (Álvarez-Buylla & Piñeyro, 2013).

México considerado el centro de origen y diversidad del maíz, dicha variabilidad está presente en milpas de los agricultores en todas las regiones productoras. El maíz se siembra desde el nivel del mar hasta los 2700 m de altitud; de los casi 14 hasta los 32 grados de latitud norte, de 87 hasta 117 grados de longitud oeste del meridiano, en las zonas de temporal con los regímenes de lluvia desde los 250 mm anuales en las zonas áridas, y hasta los 3000 mm en el sureste, con

temperaturas medias de 13-27 °C, en lugares con poca luminosidad y alta humedad relativa (Preciado & Montes, 2011).

De acuerdo a las múltiples regiones climáticas a donde se produce el maíz, así también existen distintas prácticas de manejo que son desarrolladas por personas locales. De conocer la interacción del cultivo (variedad de maíz) con las condiciones del ambiente depende asegurar su producción. La elección de variedad, raza a cultivar, es de gran importancia, ya que esta variedad debe estar adaptada a las condiciones del lugar de cultivo, conocer los hábitos de crecimiento, fechas de siembra, periodos o etapas de crecimiento dan mayor oportunidad para obtener mejores rendimientos. Todos estos factores influyen en el rendimiento (Preciado & Montes, 2011).

Tanaka y Yamaguchi (2014) encontraron que el rendimiento en grano fue mayor mientras mayor fue el nivel de N y más pequeña la distancia de siembra. El N ocasiono un incremento en altura de la planta. Para un alto rendimiento de grano los requerimientos de cultivo son: suficiente N y una corta distancia de siembra (alta densidad). Bajo estas condiciones el índice de área foliar aumenta, pero el número de granos por unidad de área foliar disminuye. Esta es la razón por la cual la demanda fisiológica frecuentemente limita el rendimiento en grano de maíz.

Bertsch (2009) determinó que la absorción total (planta y grano) para producir una tonelada de maíz es de 24.5-4.7-18.6 kg de NPK; mientras que una tonelada de grano absorbe 14.1-3.4-3.9 kg de NPK.

3.7 Diagnóstico de fertilidad de suelo

La fertilidad del suelo es un concepto amplio que no necesariamente significa lo mismo para todas las personas. La versión moderna más aceptada incluye tres tipos de fertilidad: la química, la física y la biológica. El diagnóstico de fertilidad química se ocupa de recabar información del potencial que posee un suelo para

abastecer en tiempo y forma de nutrimentos que requiere un cultivo, en tanto que el diagnóstico de las componentes físicas y biológicas se refiere a la indagación de aspectos de esa naturaleza que se asocia con las condiciones que exhibe el suelo para abastecer los nutrimentos y las condiciones, relacionadas con la nutrición, necesarias para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Los factores físicos que afectan la disponibilidad de nutrientes son: la densidad aparente, el espacio poroso, el tamaño de poros, una característica biológica relacionada con la disponibilidad nutrimental es la actividad de los microorganismos responsables de la transformación y degradación de los residuos orgánicos (Alcántar, Trejo-Téllez, 2013).

La aplicación efectiva de un programa de análisis químico de suelo conlleva tener, un profundo conocimiento de por qué y para qué se solicitan esos análisis. Contar con, muestras de calidad y el uso de técnicas de análisis apropiadas para una interpretación adecuada de los resultados.

Las variables químicas que están asociadas indirectamente con la fertilidad del suelo: pH, CE, materia orgánica, Nkjeldahl (Nk), C/N, porcentaje de CaCO_3 , acidez intercambiable, porcentaje de saturación de bases (PSB), relación de absorción de sodio (RAS), porcentaje de sodio intercambiable (PSI), entre otras de menos importancia. Ninguna de estas variables del suelo mide directamente la disponibilidad nutrimental de algún elemento en particular, pero cada una de ellas en lo particular y todas ellas en conjunto, proporcionan indicación de lo que se puede esperar con respecto a la disponibilidad de un nutrimento o varios de ellos. Un indicador (nutrimento) específico de fertilidad del suelo es un número, o valor que resulta de aplicar una cierta prueba química a una muestra representativa de suelo. Para que el indicador tenga un significado agronómico es preciso que, con anterioridad, se haya relacionado cuantitativamente con una serie de valores del mismo (esta serie de cumplir con la condición de representar un amplio intervalo de exploración, esto es, incluir valores que sean relativamente bajos, medios y altos) con: la cantidad de nutrimentos que el cultivo puede

absorber, con el rendimiento de un producto de interés económico (producción de grano, fruta, tubérculo, producción de biomasa, forraje, peso seco del cultivo), con la calidad. Este trabajo es tedioso, caro y requiere de tiempo para incluir la mayor variabilidad espacial y temporal posible. El establecimiento de las relaciones entre lo que se mide en el laboratorio y la probable respuesta de un cultivo a la aplicación de fertilizantes se conoce con el nombre de calibración (Alcántar & Trejo-Téllez, 2013).

3.8 Descripción del sitio

La localidad de San José del Chilar pertenece al municipio y distrito de San Juan Bautista Cuicatlán, estado de Oaxaca. Se ubica al noreste del estado en la región Cañada, entre las coordenadas (latitud 17°42' 28.8" y longitud 96° 56' 9.6"), carta topográfica clave E14D27, 1: 50,000 (INEGI 1995). Con una altura media de 680 msnm, clima del tipo BS₀ (h') w(w)(e) g, con 25.1°C de temperatura media anual y 471.2 mm de precipitación media anual.

La parcela experimental se ubica en el paraje denominado "El chorro", cuenta con riego rodado.

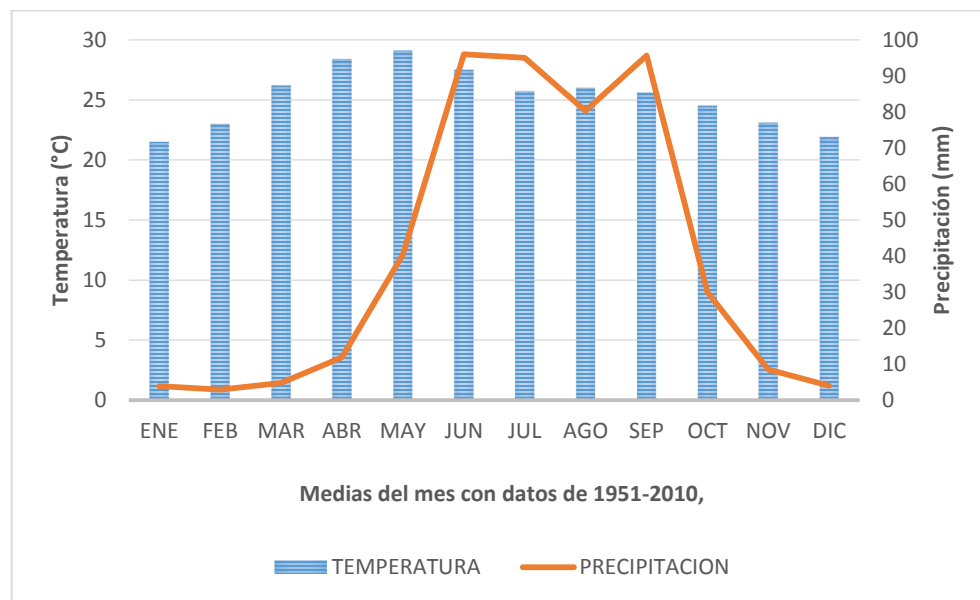


Figura 2. Climograma de la estación meteorológica de Santiago Dominguillo

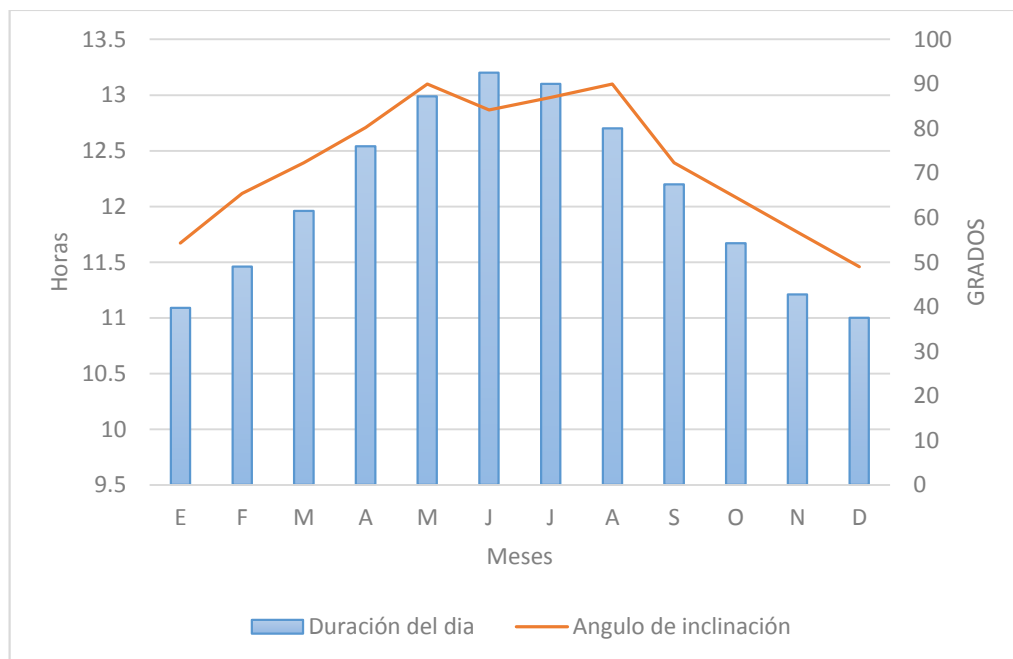


Figura 3. Comportamiento de la radiación solar en la latitud del sitio de estudio

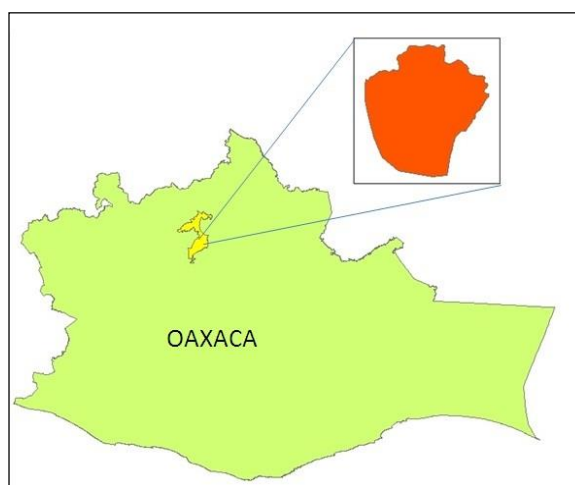


Figura 4. Localización de la zona de estudio en el estado de Oaxaca

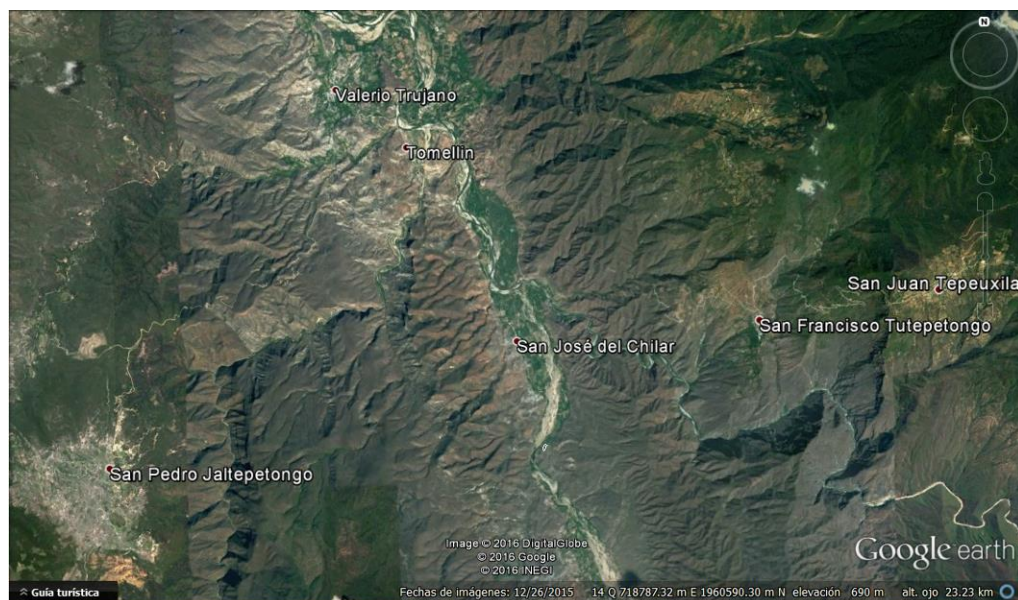


Figura 5. Imagen satelital de la zona de estudio

3.9 Literatura citada

- Agostini, P. (2015). El enfoque del Banco Mundial en el manejo integrado del paisaje (diapositivas). Proyecto de ganadería en Colombia. Banco Mundial. Disponible en <http://www.iica.int/es/eventos/pol%C3%ADticas-p%C3%BAblicas-parapromover-mis-en-alc>
- Alcántar, G. G., & Trejo-Téllez L. I. (2013). Nutrición de cultivos. Biblioteca básica de agricultura, 1ª Edición. Montecillos, Texcoco, Edo México.
- Aldana, M. (2011). Manual Agronómico; Análisis Foliares Laboratorios A-L de México S.A. de C.V. Esmeralda No. 2847 Col. Verde Valle C.P. 44550 Guadalajara, México.
- Alfaro, R. J., & López O. A. (1991). Diagnostico nutrimental en el cultivo del mango (*Mangifera indica* L.), mediante la técnica DRIS y Kenworthy en cotaxtla, Veracruz. Tesis profesional de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco Edo de México.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. Agroecología, 3, 7-24.
- Álvarez-Buylla, E. R., & A. Piñeyro N. (2013). El Maíz En Peligro Ante Los Transgénicos: Un Análisis Integral Sobre El Caso De México. UNAM Centro De Investigación Interdisciplinaria En Ciencias Y Humanidades. Unión De Científicos Comprometidos Con La Sociedad. Universidad Veracruzana, México.
- Avilán-Rovira, L. A., & Rengifo-Álvarez, C. (1992). El cultivo del manguero en Venezuela III. Fertilización. Venezuela. FONAIAP Divulga, 40.
- Bautista Monroy, C. (2008). La multifuncionalidad de los sistemas productivos orgánicos en México como criterio para la hechura de políticas públicas (Master's thesis, México: FLACSO, Sede Académica de México).

- Bertsch, H. F. (2009). Absorción de nutrimentos por los cultivos. 1 ed. Asociación Costarricense de la ciencia del suelo. San José Costa Rica.
- Cirilo, A. G. (2003). Rendimiento del cultivo de maíz Manejo de la Densidad y Distancia entre Surcos en Maíz. INTA Pergamino, Buenos Aires. <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210724.pdf>.
- Cline, W. (2007). Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Columbia University Press.
- Contreras, D. O. (2013). Propuesta de manejo de los recursos naturales de San José el Chilar, Cuicatlán, estado de Oaxaca. Tesis profesional de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco Edo de México. pp. 127.
- Cortes, F. J., Turrent F. A., Hernández R. E., Francisco N., Torres Z. J.P., Zambada M. A., & P. Díaz V. (2005). LA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES (MIAF). Colegio de Postgraduados. Texcoco México.
- Escalante, E. J. A., & Kohashi, S. J. (1993). El rendimiento y crecimiento de frijol, manual para la toma de datos. Centro de Botánica-Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Espinosa, A. J., Arias S. J. F., Miranda, S. M. A., Rico, P. H. R., Javier, M. J., López, A.A., Vargas, G. E., & Teniente, O. R. (2006). Guía práctica para la producción de mango en Michoacán INIFAP. Guía Técnica Núm. 1. Apatzingán, Michoacán, México.
- FAO. (2001). Primera reunión de expertos sobre documentación y medición de los diversos roles de la agricultura en los países en desarrollo. Proyecto sobre los roles de la agricultura, proyecto ROA.
- FERNÁNDEZ, J. (2005). Estimación de umbrales económicos para *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (*Lepidoptera: Noctuidae*) en el cultivo del maíz. Universidad de Granma.

- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). (2009). Recomendaciones prácticas para la Fertilización del cultivo de mango. FHIA - La Lima, Cortés, Honduras. 3.
- García, L. J. (2008). Innovaciones tecnológicas para el mejoramiento de la productividad del mango, *Fisiología de Cultivos. Corpoica C.I. Nataima*, Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, Republica de Colombia.
- Hernández, N., & Soto, F. (2012). Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y la relación fuente-demanda del cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales*, 33(1), 28-34.
- Howden, S. M. (2007). Adapting agriculture to climate change *PNAS* 104: 19691-19696
- Jiménez, F., & Vargas, A. (1998). Apuntes de clase del curso corto: Sistemas Agroforestales (No. 32). Bib. Orton IICA/CATIE.
- Krishnamurthy L., Krishnamurthy K., Rajagopal, I., & A. Arroyo G. (2003). Introducción a la Agroforestería para el Desarrollo Rural, SEMARNAT.
- Leguizamon, E. S. (2008). Las malezas y el agro ecosistema, departamento de producción vegetal. Facultad de ciencias agrarias, U.N.R. Zavalla, Santa fe
- López-Ridaura, S., Masera, O., & Astier, M. (2001). Evaluando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas integrados: el marco MESMIS. *Revista Leisa de Agroecología*, 16, 25-27.
- Mendieta, L. M., & Lester, R. (2007). Sistemas Agroforestales, Escuela Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Montiel, K., & Ibrahim, M. (2016). Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático, Sistematización del ciclo de foros virtuales | Año Internacional de los Suelos (AIS) 2015. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José (Costa Rica).

- Munro, O. D. (2005). Paquete tecnológico para el cultivo de mango en el estado de Colima. Secretaría de desarrollo rural del estado de Colima.
- Nain, P. A. (2013). Respuesta De Tres Cultivares De Mango (*Mangifera Indica L.*), A La Aplicación De Fertilizantes Orgánicos. Tesis Doctoral. Colegio De Posgraduados, Montecillos Texcoco, Edo De México.
- Pino, M. D. L. A. (2008). Diversidad agrícola de especies de frutales en el agroecosistema campesino de la comunidad Las Caobas, Gibara, Holguín. Cultivos Tropicales, 29(2), 5-10.
- Preciado, O. R. E. & Montes H. S. (2011). Amplitud, Mejoramiento, Usos Y Riesgos De La Diversidad Genética De Maíz En México. Sociedad mexicana de filogenética A. C. Chapingo, Edo. de México.
- Reyes, M. A., Aceves N. E., & Carrillo A. E. (2013). Frutales tropicales en altas densidades de plantación en el estado de Campeche, Colegio de Posgraduados; Campus Campeche.
- SAGARPA, (2012). Sistemas Agroforestales. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Mexico.
- Salazar, G. S. (1993). Diagnostico nutricional del mango en San Blas, Nayarit, INIFAP: campo experimental Ixcuintla. Revista Fitotecnia Mexicana.
- SEMARNAT, (2002). Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Soto, F., Hernández, N., & Plana, R. (2009). Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *Aestivum*) y triticale (*X Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento. Cultivos Tropicales, 30(3), 32-36.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). Fisiología vegetal. Editorial Universidad Juame I. vol. II. Pp. 1129. Fisiología del estrés.

- Tanaka, A. & Yamaguchi, J. (1977). Producción De Materia Seca Componentes Con Rendimiento Y Rendimiento De Grano En Maíz. Serie: Hojas Dispersas, Biblioteca Básica De Agricultura. Traductor: Josue Kohashi Shibata. Centro De Botánica Colegio De Posgraduados. Impreso En México.
- Torres, J. M. C. (2013). Análisis del programa especial concurrente para el desarrollo rural sustentable en México. Desarrollo local sostenible, (18).
- Vázquez Valdivia, V., Pérez Barraza, M. H., & Osuna García, J. A. (2010). La poda del mango.
- Vázquez-Valdivia, V., Pérez-Barraza, M. H., Osuna-García, J. A., & Urías-López, M. A. (2009). Manejo integral de huertos de mango 'Ataulfo 'con altas densidades de plantación. Revista Chapingo. Serie horticultura, 15(2), 155-160.
- Vega, E., & Molina, E. (1999). Fertilización nitrogenada en el cultivo de mango var. Tommy Atkins en Guanacaste, Costa Rica. Agronomía Costarricense, 23(1), 37-44.
- Volker, H. V., Etchevers, B. J. D., Sanjuan R. A., & Silva, P. T. (1998). Modelo de balance nutrimental para generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. Terra, 16(1).

4 ARTÍCULO CIENTÍFICO

PROPUESTA DE MANEJO INTEGRAL PARA UN ARREGLO AGROFORESTAL, MANGO CON MAIZ EN CALLEJONES

PROPOSAL FOR INTEGRAL MANAGEMENT FOR AN AGROFORESTRY DESIGN, MANGO WITH MAIZE IN CALLEJONES

RESUMEN

El manejo integral de los cultivos que interaccionan en el arreglo agroforestal requiere un profundo conocimiento de los factores bióticos y abióticos que influyen en el desarrollo de éstos. Los problemas climáticos y económicos globales, junto con las necesidades actuales del agricultor obligan a cambiar y adoptar nuevas estrategias de producción. En esta investigación se estableció un arreglo agroforestal, mango con maíz en callejones en San José del Chilar, Cuicatlán, Oaxaca. Para amortiguar la transición de cambio de variedad del mango criollo "Obo" a Tommy Atkins de mayor valor; aprovechando el tiempo y espacio en la parcela, se evaluaron tratamientos de nutrición con base en éstos diagnósticos, para lo cual, se establecieron tratamientos al 75, 100, 125 y 150 % (T75, T100, T125, T150 respectivamente) de nutrición sobre maíz a densidad de 88,000 plantas ha^{-1} , para un rendimiento esperado de 9 t ha^{-1} . Ningún tratamiento rebasó el rendimiento esperado. Sin embargo, todos los tratamientos rebasaron significativamente los rendimientos (2-5 t ha^{-1} para riego) que los agricultores obtienen en la región. Con el tratamiento T150 se obtuvo diferencia significativa respecto al resto de los tratamientos en las variables rendimiento medio y peso medio de mazorcas. En mangos de un año con una densidad de 234 árboles ha^{-1} se probaron tratamientos de nutrición al 50, 100 y 150 % (T50, T100, T150) donde se evaluó su efecto sobre crecimiento (altura y diámetro), contenido de clorofila (Unidades SPAD), contenido nutrimental foliar, e índices de balance Kenworthy (IBK). Al cubrir los niveles óptimos de fertilizantes (40 mg kg^{-1} de F y 60 mg kg^{-1} N) en el área de exploración radicular no se presentó diferencias significativas entre las medias de los tratamientos para ninguna variable respuesta determinada. Se obtuvo el orden de requerimiento nutrimental $\text{P} > \text{N} > \text{Cu} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Zn} > \text{B}$ basado en los IBK.

Palabras claves: Manejo integral, diagnóstico, nutrición, arreglo agroforestal

ABSTRACT

The integral management of the crops that interact in the agroforestry arrangement requires a deep knowledge of the biotic and abiotic factors that influence their development. The climate and economic global problems, together with the existing farm needs, force him to change and adopt new production strategies. In this research the forestry arrangement of mango with maize in alleys was established in San José del Chilar, Cuicatlán, Oaxaca. To absorb the transition of changing the variety of creole mango "Obo" to Tommy Atkins with more value; taking advantage of the time and space in the plot, nutrition treatments were evaluated. Nutrition treatments at 75, 100, 125 and 150% (T75, T100, T125, and T150 respectively) were established based on those diagnoses over corn at a density of 88,000 plants ha^{-1} , for an expected yield of 9 t ha^{-1} . No treatment exceeded the expected yield. Nevertheless, all the treatments exceeded meaningfully the yields (2-5 t ha^{-1} for irrigation) that the farmers obtain from the region. With the treatment T150 there was meaningful difference regarding the rest of the treatments in the average yield and average weight variables of the corn cobs. In a year old mangoes with a density of 234 ha^{-1} trees, nutrition treatments at 50, 100 and 150% (T50, T100, T150) were done, where their effect on growth (height and diameter) chlorophyll content (SPAD Units), the nutrimental leave content and its balance indices Kenworthy (BIK) were evaluated. Covering the optimal levels of fertilizers (40 mg kg^{-1} of F and 60 mg kg^{-1} N) in the radicular exploration area did not show any meaningful differences between the averages of the treatments for any determined variable answer. The required nutrimental order: $\text{P} > \text{N} > \text{Cu} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Zn} > \text{B}$ based on the BIK was obtained.

Key words: integral management, diagnosis, nutrition, agroforestry management

Tesis de maestría en ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible, Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Ociel Contreras Domínguez, Director: Dr. Ranferi Maldonado Torres

4.1 INTRODUCCIÓN

El manejo integral de los sistemas agroforestales requiere conocimiento profundo de los componentes, de los factores bióticos y abióticos que influyen en el arreglo agroforestal y en los objetivos del agricultor. Con los diseños agroforestales se logra incrementar la productividad de la tierra mediante cultivos asociados, donde se diversifica la producción y se aumenta la productividad por unidad de superficie (SAGARPA, 2012). Cumple múltiples propósitos a corto, mediano y largo plazo, entre los que destaca, la soberanía y seguridad alimentaria de las familias rurales (Cortes *et al.*, 2004), conservación de recursos fitogenéticos, y múltiples servicios (FAO, 2001).

El mango (*Mangifera indica L*) ocupa el quinto lugar dentro de los principales productos frutícolas a nivel mundial, En México se cultiva una superficie de 163,805 hectáreas, con una producción de 1,469,403 toneladas anuales que representa 6.1% de la producción mundial, Oaxaca es el cuarto estado de mayor producción (Munro, 2005). El territorio mexicano es la cuna del maíz (*Zea mays L.*), en él se originó hace miles de años, enlazada con su cultura, se fue diversificando, adaptándose a las distintas condiciones ambientales, así como a los sistemas muy variados y usos diversos, actualmente se le cultiva en todo el país y es la base de la alimentación de toda la población (Álvarez-Buylla & Piñeyro, 2013).

Establecer el arreglo de mango a media densidad con maíz en callejones tiene como propósito amortiguar la transición de cambio de variedad del mango criollo “Obo” a Tommy atkins de mayor valor, y resolver parte de la problemática actual de agricultura en la comunidad de San José del Chilar, Cuicatlán, Oaxaca; problemática que implica la pérdida de al menos el 50 % de la producción anual de mango “Obo”; variedad criolla de bajo valor y poca aceptación comercial (Contreras, 2013). Se requiere renovar plantaciones y cambio de variedad, bajo una estrategia de producción sostenible, basado en el diagnóstico de suelo, y tejido vegetal, e incrementando densidad de plantas bajo manejo agronómico.

Además, se debe asegurar en el suelo la cantidad y calidad de nutrimentos disponibles, para que el cultivo tenga la posibilidad de desarrollarse y expresar su potencial genético, produciendo frutos abundantes y de excelente calidad (Avilán-Rovira & Rengifo-Álvarez, 1992).

En la parcela se evaluó el efecto en rendimiento y productividad de cuatro tratamientos de nutrición en maíz utilizando un arreglo de un diseño experimental en cuadro latino. Se evaluaron tres tratamientos de nutrición y su efecto sobre la altura, el contenido de clorofila (unidades SPAD) y diámetro en árboles de mango. Se generaron propuestas de manejo integral para el arreglo intensivo de mango con maíz en callejones.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

El arreglo agroforestal está formado por árboles de mango Tommy atkins, injertados sobre patrón mango oro, en un marco de plantación tres bolillos a 7x6 m, con maíz sobre los callejones.

4.2.1 Materiales

Se utilizó semilla de maíz híbrido H: 377 Reycoll®, balanza, vernier, cinta métrica, machete, pala, fertilizantes granulados (urea, 18-46-00, sulfato de amonio), fertilizantes foliares (nutre flor®), procesador (PC) y bitácora de actividades.

4.2.2 Métodos

Se realizaron muestreos de suelo y foliar, se hizo diagnóstico del estado nutrimental del suelo y de tejido vegetal. Además, se menciona cómo se instaló el arreglo agroforestal y sus componentes. Se describe la aplicación de tratamientos y repeticiones, así como el levantamiento de datos y análisis estadístico.

4.2.2.1 Diagnóstico de fertilidad química de suelo y diagnóstico foliar

4.2.2.1.1 Muestreo de suelo

Se realizó una colecta de 26 muestras en todo el terreno, mediante un esquema de muestreo aleatorio simple en zig zag, con barrena tubular a una profundidad de 0-30 cm (SEMARNAT, 2002). Se mezcló perfectamente el total de muestras, y se fue fraccionando hasta quedar con una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg. La muestra compuesta de suelo, fue analizada por el laboratorio de Nutrición vegetal de la Universidad Autónoma Chapingo.

4.2.2.1.2 Diagnóstico de suelo

Los resultados fueron interpretados respecto a los rangos de referencia de Molina y Meléndez (2002). Se elaboró un diagnóstico de la fertilidad del suelo, calculando la cantidad de nutrimentos disponibles en el suelo.



Figura 6. Muestra de suelo formado por 26 submuestras

4.2.2.1.3 Muestreo foliar en mango

El muestreo foliar se realizó colectando de 11 árboles, 8 hojas sanas de cada árbol, maduras, fotosintéticamente activas con orientación a los 4 puntos cardinales. Las hojas muestreadas se colocaron en bolsas de papel y se llevaron al laboratorio para su análisis. Para obtener el diagnóstico del contenido nutrimental en el tejido foliar se compararon los resultados del tejido con los rangos de suficiencia con respecto a Medina-Méndez *et al.* (2014) y con respecto a Aldana (2011).

4.2.3 Diseño de tratamientos

La superficie de la parcela experimental fue de 1680 m², con 30 árboles de mango a media densidad (7x6 m), sobre los callejones se establecieron 8 surcos de 0.8 metros entre surcos, a cada hilera de árboles se le dejó un espacio de 0.8 metros. La preparación del terreno se realizó con tractor (barbecho y rastreo), y el surcado con tracción animal, la siembra se realizó de manera manual.

4.2.3.1 Tratamientos de maíz en callejones

Se trabajó con cuatro tratamientos de nutrición al 75, 100, 125 y 150 % (T75, T100, T125 y T150) respectivamente y cuatro repeticiones, arreglados en un diseño en cuadro latino. Sobre surcos de 15 m de largo por tratamiento. Se utilizó maíz híbrido H-377 de la empresa Reycoll®, a una densidad de 88,000 plantas ha⁻¹, colocando un grano a cada 14 cm.



Figura 7. Establecimiento de tratamientos de maíz

Los tratamientos de nutrición para maíz se establecieron con base en el análisis de suelo. Se determinó la demanda nutrimental para un rendimiento potencial de 9 t ha^{-1} de maíz según (García, 2005). Con el análisis de fertilidad se calculó los nutrimentos disponibles en el suelo. Se determinó una eficiencia de 50 % para N y de 20 % para fósforo.

De acuerdo a los cálculos de demanda nutrimental, se determinó que el requerimiento de fertilizante a aplicar para cubrir la demanda del cultivo de maíz fue de 6 sacos de 50 kg de sulfato de amonio (21-00-00-24), 6 sacos de 50 kg de DAP (18-46-00), y 4 sacos de 50 kg de urea (46-00-00), con un total de 16 sacos de fertilizante para un rendimiento esperado de 9 t/ha .

A la cantidad de fertilizante que cubre la demanda de 9 t ha^{-1} de maíz, se le denominó tratamiento T100 o fertilización al 100 %, a partir de este tratamiento se desarrollaron otros tratamientos T75, T125 y T150 con diferencias del 25 % en fertilizante a aplicar como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Tratamientos de fertilización aplicados al cultivo del maíz

Tratamientos (g) para surco de 15 m				
Fertilizante (mezcla)	T75	T100	T125	T150
1er aplicación (6/16) de 21-00-00-24 + (6/16) de 18-46-00	375	500	625	750
2ª aplicación (4/16) de 46-00-00	125	166	208	250

El Cuadro 2, muestra la cantidad de fertilizante que se aplicó por tratamiento en la primera y segunda fertilización.

4.2.3.1.1 Aplicación de tratamientos para maíz

Se realizó fertilización de fondo con la primera mezcla del Cuadro 2, ya que se recomienda aplicar todo el fósforo y el 50 % de N al momento de la siembra.



Figura 8. Primera fertilización de fondo en el cultivo de maíz

La segunda fertilización se realizó en V5 cuando la planta tenía alrededor de 40 cm, durante la deshierbo realizado con tracción animal.

Se realizaron dos fertilizaciones foliares con nutre flor® (dosis 400 g/100 L de agua), la primera aplicación foliar se realizó cuando la planta tenía las tres primeras hojas verdaderas, la segunda aplicación foliar se realizó combinada con insecticidas para el control del gusano cogollero poco antes de V5.

4.2.3.1.2 Evaluación de tratamientos para maíz (12/01/2017)

Se cosechó la mazorca cuando las hojas de la planta se encontraban totalmente secas, se cosecharon todos los tratamientos y sus repeticiones el mismo día.

- Se contó y pesó el número de mazorcas por tratamiento y sus repeticiones.
- Se desgranó y se pesó el grano por tratamiento y sus repeticiones
- Se calculó el rendimiento por tratamiento y sus repeticiones

Posteriormente los resultados de los tratamientos y repeticiones se sometieron a análisis estadístico incluyendo análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias utilizando el método de la diferencia mínima significativa de Fisher. Los análisis se realizaron con el Software SAS® versión 9.4.

4.2.3.2 Tratamientos para mango

Como parte del manejo integral del arreglo agroforestal en callejones, se realizó muestreo del suelo y muestreo foliar, análisis de fertilidad de suelo y análisis del contenido nutrimental foliar de mangos Tommy atkins, de acuerdo a la metodología recomendada por SEMARNAT, 2002.

Se realizó el diagnóstico de fertilidad de suelo, y se obtuvo qué los macronutrientes deficientes en el suelo son fósforo y N, se determinó que se tenían que retribuir a un nivel óptimo en el suelo, a 40 mg kg⁻¹ de fósforo y 60 mg kg⁻¹ N, son las cantidades óptimas de estos nutrimentos disponibles por kg de suelo.

Se usó la fórmula de Etchevers (2001), que indica que el requerimiento es igual a la demanda nutrimental del cultivo menos los nutrimentos disponibles en el suelo entre la eficiencia del fertilizante.

Por lo tanto, se debe retribuir estos elementos para alcanzar la cantidad óptima. Se calculó que el suelo requiere 104.35 kg de fósforo ha^{-1} , y 135.4 kg de N ha^{-1} , para cubrir el óptimo en una profundidad de 0.3 m, $\text{Dap}=1.02$.

Con base a estos cálculos se determinaron los gramos necesarios de fósforo y N, para cubrir los requerimientos en un volumen de suelo ($0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$) = 0.108 m^3 , que corresponde al volumen de exploración por la raíz asumiendo que explora 0.3 m en todas direcciones. Se consideró eficiencia de 50% para el N y 20% para el fósforo.



Figura 9. Elaboración de tratamientos

4.2.3.2.1 Instalación de tratamiento de Mango

Se desarrollaron tres tratamientos como muestra el Cuadro 3, se asignó un tratamiento a cada uno de los 30 árboles de mango dentro de la parcela experimental, sobre un diseño de bloques completos al azar con 3 tratamientos

y 10 repeticiones. El tratamiento T100 representa el fertilizante aplicado al 100% en el suelo, los tratamientos T50 y T150 representan la cantidad de fertilizante al 50% y 150% respectivamente.

Cuadro 3. Tratamientos para árboles de mango

Fertilizante	Tratamientos (g árbol ⁻¹)		
	T50	T100	T150
18-46-00	11.5	23	34.5
21-00-00-24	5	10	15

La aplicación de los tratamientos se realizó de la siguiente manera:

1. Tres días antes de la aplicación se pesó el fertilizante para 10 repeticiones dependiendo del tratamiento y se disolvió en un litro de agua (solubilización), como se muestra en la Figura 11.
2. Para aplicar el producto en campo se mezcló el litro de solución fertilizante previamente solubilizada en nueve litros de agua (formando un total de 10 L).
3. Se tomó un litro de la solución del paso 2, y se mezcló con 10 L de agua corriente y se aplicó a un árbol, respetando el diseño.
4. Se repitió el paso tres hasta completar las 10 repeticiones del tratamiento.

Se repitieron los pasos hasta cubrir los tres tratamientos y el total de árboles del diseño.



Figura 10. Pesaje y solubilización previa de los fertilizantes para cada tratamiento

4.2.3.2.2 Levantamiento de datos en respuesta a los tratamientos en árboles de Mango

Se realizaron mediciones en tres fechas distintas (22-01-16, 29-05-16 y 12-08-16) a cada árbol de altura total, altura al primer nudo del injerto, altura del nudo del injerto a la parte más alta, diámetro a base del árbol (10 cm del suelo), diámetro del entrenudo del injerto, unidades SPAD (El SPAD-502).

Se decidió desechar algunos datos debido a que no presentaron cambios y no mostraron ser representativos.

Los datos fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza usando el modelo correspondiente al diseño experimental empleado y una comparación múltiple de medias usando el método de la diferencia mínima significativa de Fisher, con un nivel de significancia al 5 %, usando el Software estadístico SAS® para determinar si existieron diferencias significativas entre efecto de tratamientos.

4.2.3.3 Segundo diagnóstico foliar por efecto de tratamiento

Como parte del diagnóstico de los tratamientos el día 12-08-16 se realizó muestreo foliar para conocer el contenido nutrimental foliar por tratamiento, cada muestra se procesó en el laboratorio de nutrición vegetal del Departamento de Suelos, en la Universidad Autónoma Chapingo se realizó secado, tritución y digestión.

- Secado a 65°C a peso constante
- Molido y tamizado (1mm)
- Digestión (muestra de 0.5 g)

A la muestra se le agregó 4 ml de ácido sulfúrico más ácido perclórico en una proporción (4:1), peróxido de hidrogeno (2 ml), posteriormente se colocó en la plancha de digestión hasta que cambio de color.

4.2.3.4 Índices de balance Kenworthy

Con los resultados de laboratorio se determinaron los índices de balance Kenworthy para cada tratamiento. Se usaron los valores nutrimentales como estándar de concentraciones obtenidas del periodo vegetativo de árboles que presentaron mayor rendimiento generados por (Alfaro, 1991).

Los cálculos de índices nutrimentales se generaron de las siguientes ecuaciones:

Cuando el valor de la muestra (X) es menor que el valor del estándar (S)

$$(X/S)*100= P$$

$$(100-P)*(V/100)=I$$

$$P+I=B$$

Si el valor de la muestra (X) es mayor que el valor estándar (S)

$$(X/S)*100= P$$

$$(P-100)*(V/100)= I$$

$$P-I= B$$

Donde:

X= concentración de la muestra

S= concentración estándar

P= por ciento del estándar

V= coeficiente de variación

I= influencia de variación

B= índice de balance

Los resultados se ordenan de menor a mayor y se obtiene el orden de requerimiento nutrimental (ORN).

5 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados obtenidos son producto de las características químicas y físicas del suelo, de las condiciones agroclimáticas y del manejo del suelo. El procesamiento estadístico de los datos permitió corroborar con nivel de confianza la respuesta de los cultivos a los tratamientos aplicados.

5.1 Diagnóstico de fertilidad química de suelo

El análisis del suelo y foliar se presenta a continuación.

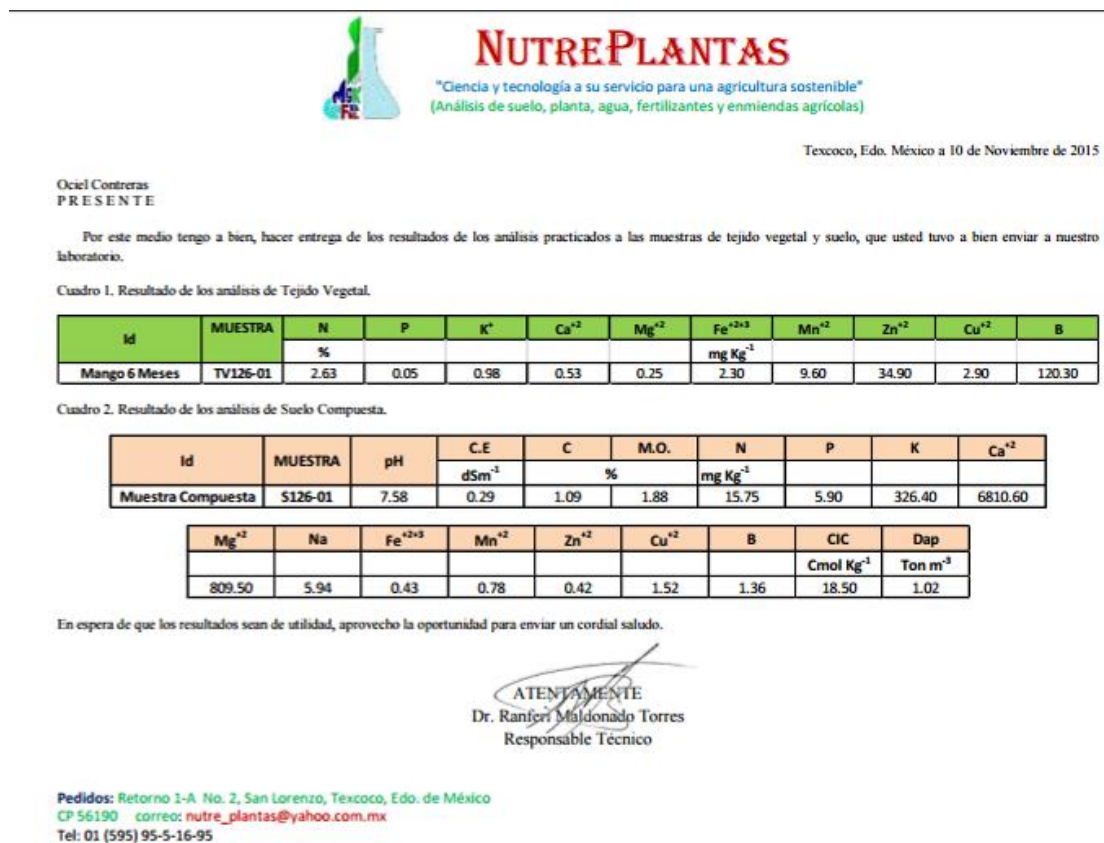


Figura 11. Resultados de análisis químico del suelo y del análisis foliar

En el cuadro 4, se muestran los resultados de nutrientes disponibles en el suelo, y su clasificación dentro de los intervalos de referencia, según Molina y Meléndez, (2002).

Cuadro 4. Interpretación de los resultados de fertilidad del suelo de acuerdo a los intervalos de referencia (Molina y Meléndez 2002).

	Unidades	Bajo	Medio	Óptimo	Alto	
PH		< a 5	5-6	6-7	> a 7	7.58
Ca	meq/100 g	< a 4	4-6	6-15	> a 15	35.05
Mg	meq/100 g	< a 1	1-3	3-6	> a 6	6.69
K	meq/100 g	< a 0.2	0.2-0.5	0.5-0.8	> a 0.8	0.837
P	mg kg ⁻¹	< a 12	5.9	12-20	20-50	>a 50
Fe	mg kg ⁻¹	< a 5	0.43	5-10	10-50	> a 50
Cu	mg kg ⁻¹	< a 0.5	0.5-1	1.52	1-20	> a 20
Zn	mg kg ⁻¹	< a 2	0.42	2-5	5-10	> a 10
Mn	mg kg ⁻¹	< a 5	0.78	5-10	10-50	> a 50
B	mg kg ⁻¹	< a 0.2	0.2-0.5	0.5-1	> a 1	1.36
MO	%	< a 2	1.88	2-5	5-10	>a 10
CIC	18.5 Cmol.kg ⁻¹ ó meq/100g medio (rango de 12-25)					
CE	Dsm ⁻¹	Menor a 1	0.29	no salino		
C	%	Rango de 0-5 1.09 % muy bajo				
N inorgánico= 15.75 mg kg ⁻¹ de suelo a profundidad de 0.2 metro y una Dap = 1.02 t m ⁻¹ : total= 32 kg ha ⁻¹						N

Nota: Los datos rellenos corresponden a los resultados obtenidos en el análisis de suelo, clasificados dentro del rango de referencia al que pertenece.

Se encontró en exceso K, Ca y Mg, lo cual se correlaciona con el pH 7.6 y una capacidad de intercambio catiónico media. Mientras que los elementos P, Fe, Zn, Mn y Mo, se encuentran en muy baja disponibilidad, esto quizá se deba al antagonismo entre estos elementos y las bases en exceso, principalmente carbonatos de calcio.

Maldonado (2001) obtuvo que los CaCO_3 totales se relacionan de forma directa con el pH y ambos de manera inversa con la concentración de N, Fe y Mn, mientras que N y Cu mostraron una relación inversa con CaCO_3 activos, igual que el K respecto al pH, Fe y con la relación al K/Ca. Lo anterior indica que a mayor concentración de CaCO_3 totales mayor alcalinidad y CaCO_3 activos en el suelo y menor disponibilidad de N, Fe, Mn y Cu. Mientras que a mayor alcalinidad menor absorción de Fe y mayor absorción de K lo cual incrementa la relación K/Ca en el follaje.

De acuerdo con Alcántar (2013) el valor bajo de N se asocia con el bajo contenido de MO en el suelo, ya que la principal fuente natural de nitrógeno orgánico de los suelos proviene de la MO (excrementos, compostas, abonos verdes, esquilmos, desechos, aguas negras y sus derivados). Por su parte la concentración de N disponible depende de factores como el contenido de MO, la relación C/N de ésta, la actividad de los microorganismos y el nivel de humedad.

Chávez (1996) encontró que baja concentración de materia orgánica (entre 1 a 2 %) y alta concentración (>10 %) de carbonatos de calcio, disminuyen la disponibilidad de nutrimentos como N, P, Fe, Mn, Zn y Cu.

Otros factores que alternan la concentración de N son el lavado del suelo, y la capacidad de retención de humedad, la profundidad del sistema radical y la precipitación. Por su parte estos factores promueven la desnitrificación, la volatilización y con ello la pérdida de N derivado de la urea y de fuentes amoniacales cuando son aplicadas al suelo con alto contenido de carbonatos (Volke *et al.*, 1998).

La disponibilidad del fósforo en suelo depende de las reacciones rápidas y lentas de absorción de los iones fosfatos por los materiales coloidales y el factor de la planta que más se relaciona con la eficiencia de recuperación del fertilizante es la eficiencia de absorción del cultivo, el cual es función de la densidad de raíces, y del factor de manejo, representado por la forma de aplicación del fertilizante (Volke *et al.*, 1998).

Cuadro 5. Nivel de nutrimentos encontrados en el suelo

Nivel	Elemento
Bajo	N, P, Fe, Zn, Mo
Medio	Cu
Óptimo	
Exceso	Ca, Mg, K, B

Para considerar otros factores que afectan la disponibilidad, movilidad y absorción de los fertilizantes aplicados, se toma en cuenta aplicaciones anteriores, cultivo anterior y su rendimiento (relacionado con la absorción), se debe conocer las aportaciones de materia orgánica (estiércol, residuos de cosecha, composta, etc.) desde años atrás, conocer las condiciones físicas (textura, estructura), y biológicas (actividad biológico sobre la materia orgánica que ayuda a la mineralización) del sitio. Del total de fertilizante aplicado no todo es aprovechado por el cultivo, lo anterior depende de muchos factores, como la densidad de raíces, la técnica de aplicación, momento de aplicación, si la recomendación de los nutrientes aplicados esta balanceada o si la fuente de fertilizantes es la correcta. Generalmente existen muchos factores que influyen sobre la eficiencia (fracción del nutrimento que es aplicado que es absorbido por la planta) de los nutrientes (Alcántar, 2013). Ya sea individualmente o en conjunto estos factores influyen en la eficiencia. Se debe considerar colocar la dosis

correcta de manera balanceada, en el lugar indicado para el momento demandado (Avilán & Rengifo, 1992).

El diagnóstico nutrimental indicó la calidad (pH, CE, CIC, PSI, etc.) y cantidad (ppm, % de los nutrientes disponibles) de las propiedades químicas del suelo, indica que elementos y en qué cantidad debemos retribuir al suelo para alcanzar un balance apropiado a los fines agrícolas (Alcántar, 2013).

El Cuadro 6, muestra la cantidad de fertilizante que se aportó al suelo de acuerdo al diagnóstico de fertilidad química del suelo, y con base a la demanda de nutrientes para un rendimiento esperado de 9 t ha⁻¹ de maíz según García (2005).

Cuadro 6. Fertilización para un rendimiento esperado de 9 t ha⁻¹ de maíz

Elemento	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Disponible en el suelo (kg ha ⁻¹)	32	1 2	665. 8	1389 4	809. 5	N D	0.87 7	1.59	0.87 7	3.1	2.7 7
Demanda (kg ha ⁻¹) (García, 2005)	19 8	3 6	171	27	27	36	1.13	1.7	0.47 7	0.11 7	0.1 8
requerimiento (kg ha ⁻¹)	16 6	2 4	ND	ND	ND	36	0.24 8	0.11 1	0.4	ND	ND

Al suelo se le debe aportar la cantidad de nutrientes requerido para cubrir la demanda del cultivo con respecto al rendimiento esperado, tomando en cuenta la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo y la eficiencia del nutrimento.

5.2 Respuesta del maíz a la fertilización

Una característica a destacar del arreglo agroforestal que se propone, es la alta densidad de plantas de maíz (88,000 plantas ha⁻¹). Los resultados que se muestran el Cuadro 7, indican el comportamiento de los tratamientos del cultivo de maíz en el sistema propuesto.

Cuadro 7. Resultados de los tratamientos aplicados al maíz

TRAT	REP	NUM_MAZ	PTMAZ (kg)	PPMAZ (g)	PGUE (kg)	REND (kg ha ⁻¹)
T150	A	59.00	10.50	177.97	8.10	6749.97
T150	B	64.00	11.80	184.38	8.30	6916.64
T150	C	76.00	12.00	157.89	9.50	7916.64
T150	D	89.00	12.50	140.45	9.90	8249.97
T125	A	84.00	11.30	134.52	8.70	7249.97
T125	B	73.00	10.20	139.73	8.10	6749.97
T125	C	77.00	9.70	125.97	7.50	6249.98
T125	D	68.00	9.60	141.18	7.50	6249.98
T100	A	80.00	8.70	108.75	6.80	5666.64
T100	B	60.00	8.10	135.00	6.60	5499.98
T100	C	81.00	10.80	133.33	8.30	6916.64
T100	D	97.00	10.90	112.37	8.30	6916.64
T75	A	80.00	9.50	118.75	7.50	6249.98
T75	B	61.00	9.70	159.02	7.60	6333.31
T75	C	89.00	9.30	104.49	7.30	6083.31
T75	D	80.00	9.70	121.25	7.40	6166.64

TRAT: tratamiento, REP: repeticiones, NUM_MAZ: número de mazorcas, PTMAZ: peso total de las mazorcas, PPMAS: peso por mazorca, PGUE: peso del grano por unidad experimental, REND: rendimiento calculado para una hectárea.

Las variables respuestas que se muestran en el Cuadro 7, son los resultados del total de los tratamientos, sin embargo, es necesario realizar análisis estadístico para dar certeza y confianza sobre los resultados.

En esta investigación se buscó determinar si algún tratamiento de fertilización resultó mejor para el cultivo de maíz, al incrementar la densidad de siembra a 88,000 plantas ha⁻¹, con sólo disminuir la distancia entre plantas y colocando una sola semilla a 14 cm, aproximadamente. Mientras que en la región de estudio se acostumbra colocar densidades de alrededor de 50,000 plantas ha⁻¹ colocando dos semillas por golpe en siembra por estaca. Incrementar la densidad abre una alternativa de adoptar un nuevo sistema (arreglo) de plantación que optimice en tiempo y espacio la parcela. Guevara (2005) concluyó que un espacio entre líneas de 0.75 m y una densidad de plantas de 90,000 semillas ha⁻¹, es adecuado para

la producción de forraje o grano de maíz con riego superficial por goteo y mínima labranza bajo las condiciones examinadas.

Sin embargo, en el área de estudio se han encontrado limitantes asociadas a incrementar la densidad de plantas, lo cual se debe a la falta de herramientas y/o maquinaria en la región. Sin embargo, los resultados en rendimiento encontrados fueron mayores a los rendimientos locales (2-4 t ha⁻¹) y regionales (5 t ha⁻¹), aún en el tratamiento T75.

Tanaka y Yamaguchi (2014) encontraron que el rendimiento en grano fue mayor mientras mayor fue el nivel de N y más pequeña la distancia de siembra, ya que el maíz posee un elevado potencial de rendimiento. El peso seco de la parte aérea de la planta de maíz depende de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada por el cultivo (Hernández & Soto, 2012), y está en función de la estructura del cultivo y depende del tipo de planta, de la cantidad y de su distribución en el terreno, densidad de siembra (Cirilo, 2003). Una mayor acumulación de biomasa en momentos próximos a la madurez fisiológica permite alcanzar mayores rendimientos (Hernández y Soto, 2012), el período de llenado del grano, los factores genéticos, climáticos y de manejo que permiten una mayor duración y un mantenimiento de la fotosíntesis durante este período generan incremento del rendimiento final, una mayor acumulación de biomasa en el período de floración dará un mayor rendimiento (Soto *et al.*, 2009).

Haciendo cambios al arreglo de siembra e incrementando la densidad, al aumentar el número de semillas por m², se aprovechan las propiedades de fertilidad del suelo, se distribuye el espacio (agua, nutrientes, aire, y espacio para desarrollo radicular) entre plantas, se optimiza la radiación fotosintéticamente activa. Se debe tomar en cuenta que la alta densidad está ligada a alta demanda de recursos para el desarrollo de la planta (agua, nutrientes, radicación, aire, y principalmente se debe tener la capacidad de manejo del arreglo).

5.2.1 Análisis estadístico de resultados en tratamientos de maíz

Conocer la plasticidad de las variables respuesta permite conocer el comportamiento de los factores evaluados y el punto de balance entre el conjunto de resultados. El Cuadro 8, muestra propiedades del conjunto de datos de las variables respuesta evaluadas. Una de las características del conjunto de datos que proporcionan las variables respuesta es la desviación estándar, la cual indica la variabilidad de los resultados.

Cuadro 8. Estadísticos descriptivos de los resultados de los tratamientos para maíz

Variable	N	Media	DS	Minima	Maximo
NUM_MAZ	16	76.12	11.26	59.	97.0
PTMAZ(kg)	16	10.26	1.21	8.1	12.50
PPMAZ(g)	16	137.19	23.19	104.49	184.38
PGUE(kg)	16	7.96	0.88	6.6	9.9
Rend (kg ha ⁻¹)	16	6635.39	738.41	5499.98	8249.97

NUM_MAZ: número de mazorcas, PTMAZ: peso total de las mazorcas, PPMAZ: peso por mazorca, PGUE: peso del grano por unidad experimental, REND: rendimiento calculado para una hectárea.

Del cuadro 8, podemos destacar el número promedio de mazorcas (NUM_MAZ) cosechadas, este dato brinda información sobre que densidad se debe proponer a futuro para estas condiciones de campo de esta variedad, e incluso para la temporada y condiciones examinadas. El promedio de mazorcas cosechadas se relaciona con el número de plantas de maíz que alcanzaron su madurez y lograron producir mazorca, con esto se concluye que la densidad de plantas propuestas no es la indicada para estas condiciones.



Figura 12. Arreglo agroforestal mango con maíz en callejones.

La Figura 12, muestra el arreglo agroforestal establecido, donde se observa que el frutal desarrolla fototropismo positivo, con ligera etiolación, esto es una respuesta a la falta de radiación fotosintética activa o competencia por radiación entre el cultivo anual. Lo anterior demuestra que la distribución espacial del cultivo anual sobrepasa e invade el espacio vital del frutal por lo que se debe considerar dejar espacio suficiente para que en la etapa final (floración-llenado-maduración) del cultivo anual no haya limitaciones de energía hacia el frutal. Se propone que al menos se deje un espacio igual al diámetro de sombreado del frutal, entre el límite de copa y límite del cultivo anual.

5.2.2 Comparación de medias de los tratamientos en maíz

La finalidad del análisis estadístico es dar a los resultados un nivel confianza al efecto causado sobre una variable respuesta evaluada, se determinó un error máximo permitido de 0.05, a lo que es igual a un nivel de significancia del 5 % en las medias de los resultados, el Cuadro 9, muestra la comparación de medias de las variables respuesta evaluadas.

Cuadro 9. Tabla de comparación de medias de tratamientos

TRAT	NUM_MAZ	PTMAZ (kg)	PPMAZ (g)	PGUE (kg)	Rend (kg ha ⁻¹)
T150	72a*	11.7a	165.17a	8.95a	7458.3a
T125	75.5a	10.2a	135.35b	7.95ab	6625ab
T100	79.5a	9.625a	122.36b	7.5b	6250b
T75	77.5a	9.55a	125.88b	7.45b	6208.3b
DMS	18.77	1.43	26.43	1.09	905.6

TRAT: tratamiento, NUM_MAZ: número de mazorcas, PTMAZ: peso total de las mazorcas, PPMAZ: peso promedio de mazorca, PGUE: peso del grano por unidad experimental, REND: rendimiento calculado para una hectárea.

*: Medias por columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de LSD de Fisher con nivel de significancia al 5%.

Las medias del número de mazorcas (NUM_MAZ) sin diferencia significativa indica que los tratamientos no afectaron estadísticamente al número de mazorcas cosechadas, se esperaba al menos un 98 % de semillas germinadas, y este mismo porcentaje de mazorcas cosechadas. Sin embargo, solo se cosecharon en promedio el 71 % de las semillas sembradas.

En campo se observaron plantas subdesarrolladas desde las primeras etapas, durante la cosecha se encontró plantas estériles y de muy bajo porte, dando una idea que hubo otros factores limitantes al potencial de la semilla. Cirilo (2003) encontró que el componente del rendimiento más afectado por la densidad es el número de granos que alcanzan la madurez, este número se asocia con la

capacidad de crecimiento de la planta durante la floración cuando se determina la disponibilidad de asimilados para los granos en formación en ese período crítico para su supervivencia. A medida que el crecimiento de la planta disminuye por incrementos en la densidad, la caída en el número de granos fijados en la planta se hace más abrupta (Cirilo, 2003). Ello responde al relegamiento en la asignación de asimilados dentro de la planta que sufre la espiga, debido a mecanismos de dominancia apical.

Se menciona que el método de siembra tiene efecto sobre el tiempo de germinación. Guevara *et al* (2005) reporta que la sembradora de mínima labranza dejó semillas en la superficie provocando que las plantas compitieran fuertemente por los elementos que se involucran en el desarrollo, compiten por agua, radiación solar, minerales en el suelo, aire y espacio en el sistema radicular, etc., alguno de estos factores o su interacción limita el potencial productivo. Este comportamiento conduce a que se alcance un umbral de crecimiento mínimo por planta por debajo de los cual ulteriores incrementos en la densidad determinan su esterilidad (Cirilo, 2003).

Con respecto a los resultados del estudio de las variables peso total de la mazorca (PTMAZ) y el peso promedio de las mazorcas cosechadas (PPMAZ), se determinó una relación directa. Las medias de ambas variables en el tratamiento T150 mostraron diferencia estadística con respecto al resto de los tratamientos, con mazorcas de mayor peso y tamaño, lo que significó que hubo efecto de tratamiento de nutrición.

Las medias de rendimiento en gramos por unidad experimental (PGUE) y rendimiento calculado (REND) en los tratamientos T150 y T125 no muestran diferencia estadística significativa. Mientras las medias de los resultados de los tratamientos T125, T100, T75 no muestran diferencia estadística significativa. Esto quiere decir que los tratamientos T125, T100, T75 son estadísticamente no diferentes, y que T150 y T125 también son estadísticamente no diferentes. Cabe resaltar que ningún tratamiento rebasó el rendimiento esperado de cosecha de 9

t ha⁻¹, sin embargo, rebasaron por mucho los rendimientos máximos para la región de estudio (5 t ha⁻¹).

En los tratamientos se modificaron las propiedades químicas de fertilidad del suelo, aportando suficientes nutrientes (García, 2005) para lograr un rendimiento de 9 t ha⁻¹. Sin embargo, no se cumplió la hipótesis: si se le otorga la cantidad de nutriente requerida al suelo, el cultivo va a rendir conforme la cantidad de nutriente esté disponible. Sin embargo se deben considerar muchos otros factores para que se alcance el máximo potencial del maíz con el nivel de fertilización que se le aplicó.

Los resultados de los tratamientos de nutrición indicaron que el rendimiento de un cultivo no solo depende de la disponibilidad de nutrientes dentro del suelo (fertilidad química), si no de múltiples factores bióticos, abióticos (Taiz & Zeiger, 2006), de manejo y socioeconómicos que impactan en el desarrollo del cultivo. Entre los factores bióticos se encuentran: plagas (como el gusano cogollero en maíz, Fernández, 2002), roedores (descortezan el tallo del mango), aves, tejones, etc., es bien sabido por los productores las temporadas de mayor incidencia de este tipo de plagas, evitando estas condiciones. En cuanto a factores abióticos se encuentran las condiciones atmosféricas (temperatura, precipitación, humedad atmosférica, humedad en el suelo, etc.), las propiedades de fertilidad del suelo en condiciones adecuadas (Alcántar, 2013); En cuestión de manejo, la fecha de siembra va asociado a la insolación, ángulo de inclinación de rayos solares, horas luz y radiación solar de calidad (Soto *et al.* 2009), estos elementos determinan la radiación fotosintéticamente activa correlacionada directamente con el desarrollo y rendimiento de los cultivos.

Estos factores en condiciones inadecuadas están relacionados con el estrés de las plantas (Taiz y Zeiger, 2006), disminuyendo su potencial de desarrollo y rendimiento (Avilan, 1992). Lo ideal es hacer coincidir el periodo donde estos factores se encuentran en condiciones lo más favorablemente posible (diagnóstico, climograma y grafica de insolación) con la etapa de mayor demanda

de recursos (mayor formación de foto asimilados y acumulación de biomasa) del cultivo anual.

Soto *et al.* (2009) mencionan que para el maíz la etapa de mayor formación y demanda de foto asimilados va de la floración hasta la formación de la mazorca. Por su parte Hernández y Soto (2012) indican que entre más largo es el periodo de llenado de mazorca, y mejores condiciones de radiación, agua y nutrimentos, mayor acumulación de biomasa se logra en el cultivo, aumentando el número de granos por mazorcas, reflejándose en incremento en rendimiento.

5.3 Diagnóstico del análisis foliar de mango

De acuerdo a los resultados del análisis foliar, se hicieron las comparaciones nutrimentales con los rangos de suficiencia con respecto a Medina y Volker (2002) como se muestra en el Cuadro 10, y con respecto a Aldana (2011) como se muestra en el Cuadro 11. Como parte del diagnóstico se otorgó una categoría subjetiva a los resultados, respecto a los intervalos de suficiencia.

Cuadro 10. Interpretación de resultados de análisis foliar respecto a Medina-Méndez et al. (2014).

ID	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	%					mg kg ⁻¹				
intervalos de suficiencia	0.90-1.35	0.07-0.11	0.5-0.8	3.5-3.75	0.16-0.25	75-140	175-320	10-22	6-9	85-210
Resultados	2.63	0.05	0.98	0.53	0.25	2.30	9.60	34.90	2.90	120.30
	sob	deb	sob	deb	den	deb	deb	Sob	deb	Den

deb = debajo del rango de suficiencia; sob =sobre el rango de suficiencia; den = dentro de rango de suficiencia

El análisis de tejido foliar, es una herramienta complementaria al análisis químico del suelo, juntos ayudan a elaborar un buen diagnóstico y programa de fertilización (Alcántar & Trejo-Téllez, 2013). El diagnostico reflejó el estado y la relación suelo-planta, al igual que proporcionó referencias sobre aquellos nutrimentos que están presentes en el suelo pero no es posible el acceso y

absorción a la planta, esto se debe principalmente a un desbalance en el contenido de los nutrimentos en el suelo, y otros factores ambientales como la disponibilidad de agua en el suelo y transpiración, el tamaño y forma del ion afectan el acceso y absorción de nutrimentos (poca movilidad de Zn, Cu, Mn, Mo, Fe y Ca en la planta) (Alcántar & Trejo-Téllez, 2013).

Cuadro 11. Interpretación de resultados de análisis foliar respecto a (Aldana, 2011).

Id	N	P	K ⁺	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	%					mg kg ⁻¹				
Rangos de suficiencia	1.0-2.0	0.1-0.35	0.80-1.5	1.50-5.00	0.15-0.50	50-200	50-100	20-50	8-20	25-50
Resultado	2.6	0.05	0.98	0.53	0.25	2.3	9.60	34.9	2.90	120.3
	sob	deb	den	deb	den	deb	deb	Den	deb	sob

deb = debajo del rango de suficiencia; sob =sobre el rango de suficiencia; den = dentro de rango de suficiencia

Se observó en los Cuadros 10 y 11, que los elementos P, Ca, Mn, Fe y Cu, se encontraron por debajo de los rangos de suficiencia. Por lo tanto, son los nutrimentos que se deben aplicar al suelo (fertilización al suelo) y a la planta (fertilización foliar), además de aplicar mejoradores del suelo (azufre elemental y MO harán más disponibles estos nutrimentos en suelos alcalinos) (Alcántar & Trejo-Téllez, 2013).

El N en tejido foliar se encontró sobre el rango de suficiencia, sin embargo, se deben hacer aplicaciones constantes de N al suelo, ya que se requiere para el desarrollo vegetativo del mango (FHIA, 2009). Por su parte el Mg se encontró dentro de los rangos de suficiencia para ambos autores, con ayuda del análisis químico de suelo y el análisis foliar se determinó que no fue necesario aplicar Mg, ya que en el suelo presentó exceso de éste. Los elementos K, B y Zn mostraron diferencia entre los rangos de suficiencia respecto a Medina y Volker (2002) y

Aldana (2011), pero ninguno de estos elementos se encontró deficiente en la solución del suelo.

Chávez (1996) encontró que en suelos con pH entre 7.3 a 8.5, con baja concentración de materia orgánica (entre 1 a 2 %) y alta concentración de carbonatos de calcio disminuyó la disponibilidad de nutrimentos como N, P, Fe, Mn, Zn y Cu, fenómeno que se manifestó de manera visible en los árboles de limón.

Por lo anterior el análisis de suelo y análisis foliar son una herramienta de diagnóstico para elaborar el programa de fertilización, este programa depende del objetivo del productor, si él requiere crecimiento vegetativo se puede estimular aplicando mayormente N, esto depende de la edad, etapa fenológica, y fisiológica del frutal, también depende de la interacción del frutal con las condiciones climáticas (Espinosa *et al.*, 2006).

5.3.1 Índices de balance Kenworthy

El Cuadro 12, muestra los resultados del análisis foliar, los índices de balance Kenworthy (IBK) calculados para cada nutrimento en su respectivo tratamiento, muestra a qué intervalo Kenworthy (IK) pertenece el nutrimento, así mismo expresa el orden de requerimiento nutrimental (ORN) en que se debe retribuir los fertilizantes.

Cuadro 12. Índices de balance Kenworthy (IBK) y orden de requerimiento nutrimental(ORN)

NUTRIMENT O	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu(ppm)	B(ppm)
FOLIAR-INIC	2.63	0.05	0.98	0.53	0.25	2.30	9.60	34.90	2.90	120.30
IBK-INICIAL	162.70	60.95	135.74	55.55	91.18	18.92	43.38	151.36	39.63	339.38
NIVEL	Exc	Abajo	Arriba	Abajo	Opt	Abajo	Abajo	Exc	Def	Exc
ORN	Fe>Cu>Mn>Ca>P>Mg>K>Zn>N>B									
FOLIA-T50	0.74	0.03	1.12	0.64	0.19	162.45	44.60	85.20	19.25	151.31
IBK-T50	48.78	39.72	152.41	60.39	73.53	126.71	115.42	355.09	71.37	418.09
NIVEL	Def	Def	Exc	Abajo	Abajo	Arriba	Optimo	Exc	Abajo	Exc
ORN	P>N>Ca>Cu>Mg>Mn>Fe>K>Zn>B									
FOLIAR-T100	0.83	0.05	1.15	0.70	0.21	95.05	25.70	25.00	9.10	194.31

IBK-T100	54.19	56.70	155.39	63.03	77.94	81.34	76.52	111.26	51.66	527.24
NIVEL	Abajo	Abajo	Exc	Abajo	Abajo	Abajo	Abajo	Optimo	Abajo	Exc
ORN	Cu>N>P>Ca>Mn>Mg>Fe>Zn>K>B									
FOLIAR-T150	0.73	0.02	1.16	0.57	0.12	61.30	45.60	50.20	10.45	179.59
IBK-T150	48.48	35.48	156.58	57.09	51.47	58.63	117.47	213.33	54.29	489.87
NIVEL	Abajo	Abajo	Exc	Abajo	Abajo	Abajo	Arriba	Exc	Abajo	Exc
ORN	P>N>Mg>Cu>Ca>Fe>Mn>K>Zn>B									

El fósforo se aplicó durante los tratamientos, en los resultados foliares y los índices de balance para cada tratamiento se ubicó al fósforo en el intervalo abajo de lo normal y deficiente. Se esperaba que el contenido de fósforo en el tejido vegetal fuese suficiente para desarrollo de la planta y se reflejase en el contenido foliar. Sin embargo, no mostró diferencia entre los tratamientos, posiblemente se debe a que la planta ocupó el fósforo para mantenimiento, el crecimiento, y desarrollar de otros tejidos (raíces, hojas, tallo e incluso fruto), distribuyendo el contenido nutrimental en otros órganos. Cabe mencionar que no fueron muestreados tejidos nuevos, también existe la posibilidad que el fósforo aplicado, haya sido fijado por la estructura del suelo (alcalino), dejando poco disponible para la planta.

Con respecto al contenido de N en tejido vegetal, los índices de balance se ubican en los intervalos de deficiente y por debajo de lo normal en todos los tratamientos. Se encontró una contradicción respecto al diagnóstico foliar inicial donde se muestra el contenido de N en el intervalo de exceso, posiblemente se debe a que la planta se encontraba en (dormancia) al momento del muestreo, muchas veces durante este periodo hay acumulación de nutrientes, ya que en invierno las plantas disminuyen su crecimiento vegetativo (inducido por las condiciones climáticas, asociado a bajas temperaturas, Espinosa *et al.*, (2006), acumulando nutrientes, preparándose para la inducción floral, como prueba a esto se tuvieron tres árboles con flor y fruto, de los cuales dos alcanzaron a formar fruto.

El K en los tratamientos, se ubicó en intervalos arriba del nivel de suficiencia y en exceso, esto tiene correlación al alto contenido de K en el suelo, no siendo una

limitante para el desarrollo de la planta. Maldonado (2001) encontró que mientras a mayor alcalinidad menor absorción de Fe y mayor absorción de K lo cual incrementa la relación K/Ca en el follaje.

El Ca y Mg se ubicaron en intervalos de suficiencia debajo de lo normal, se esperaba que al igual que el potasio estuviesen en un nivel suficiente o en exceso debido a la disponibilidad en el suelo, con un alto contenido de Ca y Mg, y un pH 7.6. Sin embargo, se cree que el bajo contenido de calcio en tejido vegetal se debe a su baja movilidad en la planta, debido a su función estructural y soporte (Alcántar & Trejo-Téllez, 2013). El bajo contenido de Mg puede estar asociado al bajo contenido de N, en todos los tratamientos se tiene el mismo comportamiento. Sin embargo, se observa que en el análisis inicial de diagnóstico el N y Mg se encuentran en rangos de suficiencia óptimo y en exceso, ambos elementos conforman la estructura de la clorofila (Taiz & Zeiger, 2006), y por lo tanto tienen una correlación directa, quizá a esto se debe que en tejidos donde se tiene un buen nivel de N, ahí también encontraremos buenos niveles de Mg, aunque considero que no a la inversa.

El Fe, Mn y Cu se encuentran por debajo de lo normal en tejido vegetal para todos los tratamientos, quizá se deba a la poca disponibilidad de estos elementos en el suelo, debido a su alto contenido de carbonatos, principalmente calcio y otras bases que inmovilizan estos micro elementos. Maldonado (2001) obtuvo que los CaCO_3 totales se relacionan de forma directa con el pH y ambos de manera inversa con N, Fe y Mn, mientras que N y Cu mostraron una relación inversa con CaCO_3 activos, igual que el K respecto al pH y Fe con la relación al K/Ca. Lo anterior indica que a mayor concentración de CaCO_3 totales mayor alcalinidad y CaCO_3 activos en el suelo y menor disponibilidad de N, Fe, Mn y Cu.

El Zn y B se encontraron en exceso en el tejido vegetal.

En general el contenido nutrimental del tejido para todos los tratamientos, están muy por debajo del contenido propuesto en los estándares nutrimentales para etapa vegetativa propuesta por Alfaro, (1991).

Salazar-García *et al* (2014) encontraron que los tratamientos de fertilización tuvieron poco efecto sobre la concentración foliar de nutrimentos. Los tratamientos de fertilización no afectaron el crecimiento de los árboles. La dosis normal mostró concentraciones más altas de N y Zn; la dosis alta fue mayor en Fe y B, aunque el Fe fue similar al testigo y el B a la dosis normal. El P en el testigo fue mayor que la dosis normal y alta. Sin embargo, la dosis normal y el testigo mostraron el mayor contenido foliar en Mg Tommy atkins'. Los años de muestreo no mostraron tendencias claras respecto a la concentración de nutrimentos en las hojas. Sin embargo, si se encontró diferencia en cuanto a rendimiento.

Para generar un estándar nutrimental se utilizan árboles que han mostrado un alto potencial de crecimiento y producción (Alfaro, 1991), son árboles adultos con un sistema radicular bien establecido. En cambio, los árboles de estudio en este experimento tienen un año de edad en campo, quiere decir que apenas están formando nuevas raíces, ramas, hojas, consumiendo los nutrientes disponibles para formar nuevos tejidos, lo cual lleva a que los contenidos nutrimentales no alcancen los rangos de suficiencia.

El orden de requerimiento nutrimental (ORN), prioriza los nutrimentos a restituir de acuerdo al nivel contenido dentro del tejido vegetal, en un orden ascendente, que va del índice de balance más bajo al índice balance Kenworthy más alto. Con base en el diagnóstico se propone el siguiente orden de restitución P, N, Fe, Cu, Mn y el uso de azufre elemental (reducción de pH) y MO como mejoradores de suelo para alcanzar un balance en la disponibilidad de nutrimentos.

Por su parte Avilán-Rovira & Rengifo-Álvarez (1992) sugieren para árboles de 2 años de edad una dosis de fertilización por planta de 20-25 g de N, de 10-12 g

de fósforo, de 25-30 g de potasio, en una relación de 1.0-0.5-1.2. Con promedios de 2.1 m de altura, con un radio a de 0.44 m y un radio b 0.8 m. Con producción de 4 kg árbol⁻¹ (10 frutos por árbol).

5.3.2 Resultados de unidades SPAD

El Soil Plant Analysis Development o unidades SPAD se utilizan como indicadores de la cantidad de clorofila presentes en las hojas de la planta, asociadas al contenido de N (Mendoza *et al*, 1998). Por ello se tomaron cinco lecturas de unidades SPAD por cada árbol vivo dentro de un diseño de bloques completamente al azar en dos fechas distintas (29-05-16 y 12-08-16).

Cuadro 13. Medias de unidades SPAD del conjunto de árboles de un tratamiento en la primera fecha (29-05-16).

Medias SPAD	No. de árboles	Tratamientos
34.204a*	10	T150
34.093a	9	T50
33.50a	9	T100

*: Medias por columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de LSD de Fisher con nivel de significancia al 5 %.

Como se puede observar en el Cuadro 13, no se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, para la primera lectura de unidades SPAD de un total de 150 lecturas.

Posteriormente (12-08-16) se repitió la lectura de unidades SPAD, sobre los árboles y se presentan las medias calculadas, sometidas a análisis estadístico.

Cuadro 14. Medias de unidades SPAD del conjunto de árboles de un tratamiento en la segunda fecha (12-08-16).

Medias SPAD	No. de árboles	Tratamientos
43.724a*	9	150

42.783a	7	50
40.908a	8	100

*: Medias por columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de LSD de Fisher con nivel de significancia al 5 %.

En el Cuadro 14, las medias de lecturas de unidades SPAD no mostraron diferencia significativa para la segunda fecha de toma de datos. Pero si se pudo observar que las medias de las unidades SPAD de la segunda fecha (12-08-16) se incrementaron con respecto a las medias de la primera fecha (29-05-16), y se encontró que solo hubo diferencia significativa entre fechas (29-05-16 y 12-08-16) en que se realizó las lecturas del SPAD.

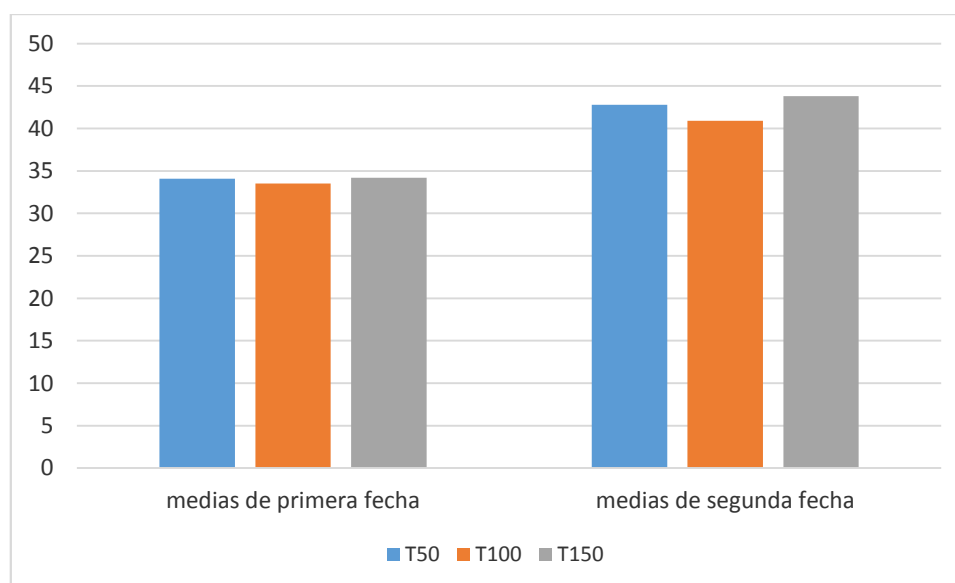


Figura 13. Medias de lecturas de unidades SPAD, del conjunto de datos por tratamiento en distinta fecha.

La Figura 13, muestra gráficamente que no hubo diferencia en las medias de lecturas de unidades SPAD entre los tratamientos con respecto a la misma fecha, pero si hubo diferencia entre las medias para el mismo tratamiento con diferente fecha (29-05-16 y 12-08-16) de lectura de unidades SPAD. Esto indicó que no hubo efecto de tratamientos sobre el contenido de clorofila (unidades SPAD). Sin embargo, si hubo efecto de tiempo sobre las lecturas de unidades SPAD. Mendoza *et al.* (1998) encontró en plantas de jitomate que conforme transcurren

los días después del trasplante y se desarrolla la planta de tomate, el contenido de nitrógeno en las hojas disminuye para incrementarse en la planta completa y fruto mientras que las unidades SPAD y la clorofila y nitrógeno calculado se reducen cuando se tiene fruto. Para el presente trabajo se consideró que en el momento en que se registró la primera lectura, las hojas se encontraban en una etapa de estrés, con un bajo potencial fotosintético debido a las altas temperaturas del mes de mayo y baja humedad relativa.

En cambio, Espíndola (2007) encontró en árboles de aguacate diferencia significativa en lecturas SPAD en las hojas del flujo de crecimiento una diferencia significativa 13 días después de haber realizado la aplicación foliar de N y AG₃, la aplicación de N (160 g árbol⁻¹) aumentó los valores de las lecturas de unidades SPAD, con interacción de tres factores: N (160 g árbol⁻¹), AG₃ (25 mg L⁻¹) y anillado.

Durante el experimento algunos árboles respondieron a la fertilización al suelo, como un estímulo de inducción floral, produciendo flor y solo algunos llegaron a formar fruto. Esta respuesta de inducción floral, se puede estar confundiendo con el estímulo que genera el frío durante invierno (Espinosa *et al.*, 2006), que coincide con la época de aplicación de tratamientos (22-01-16). Cabe resaltar que las lecturas de unidades SPAD máximas corresponden a los árboles que detuvieron su crecimiento vegetativo y posteriormente indujeron floración y fructificaron.



Figura 14. Árboles de mango con menos de un año de edad y con fruto

5.3.3 Resultados de incrementos para altura de los árboles de mango

Del conjunto de 30 árboles que fueron sometidos a los tres tratamientos (T50, T100 Y T150), se realizaron mediciones en tres ocasiones (22-01-16, 29-05-16 y 12-08-16) de altura del nudo del injerto al ápice más alto del árbol y el diámetro del entrenudo del injerto. Se calculó el incremento en altura y diámetro de tallos entre la primera fecha con la segunda fecha (F2F1), la segunda fecha con la tercera (F3F2), y tercera fecha con primera (F3F1).

Cuadro 15. Comparación de medias de los incrementos en altura por tratamiento (cm).

Tratamientos	F2F1	F3F2	F3F1
T50	24.3a*	12.6a	36.9a
T100	25.3a	18.4a	43.2a
T150	29.18a	24a	41.2a

*: Medias por columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de LSD de Fisher con nivel de significancia al 5 %.

El Cuadro 15, muestra la comparación de medias de los incrementos en altura de los tres periodos, obteniéndose que no se encontraron diferencias estadísticas significativas, lo cual indicó que no hubo efecto de tratamiento sobre la altura de árboles. Salazar *et al.* (2014) encontraron que los tratamientos de fertilización tuvieron poco efecto sobre la concentración foliar de nutrimentos y no se incrementó el crecimiento de los árboles de mango Tommy atkins. La razón de este resultado puede ser atribuido a que temperaturas bajas (Taiz & Zeiger, 2006), no permite que se exprese el efecto de los tratamientos. La Figura 3, muestra que en los meses de invierno las temperaturas disminuyen, el número de horas luz y el ángulo de inclinación de los rayos de sol, lo que causa una disminución (por estrés) en el crecimiento vegetativo (Taiz & Zeiger, 2006). Este mismo efecto se encontró en las lecturas de unidades SPAD. También puede ser que los niveles óptimos de fertilizante retribuido al suelo no fueron suficientes para ser absorbidos por la raíz.

Otra razón de la baja concentración nutrimental puede ser atribuida a los árboles que presentaron apertura de copa lateral, con desarrollo de más de tres ramas, lo cual originó dilución nutrimental. Mendoza *et al.* (1998) encontraron que entre más crecía la planta de jitomate, disminuía el contenido de nutrimentos en las hojas.

5.3.4 Resultados de los incrementos en diámetro de los árboles de mango

Se calculó el incremento en diámetro entre la primera fecha con la segunda fecha (F2F1), la segunda fecha con la tercera (F3F2), y tercera fecha con primera (F3F1), para cada árbol y se sacó un promedio de incrementos por tratamiento.

Cuadro 16. Incrementos medios en diámetro (mm) del primer entre nudo del injerto

Tratamiento	F2F1	F3F2	F3F1
T50	10.2 a*	7.8 a	16.8 a
T100	4.7 a	15.7 a	20.5 a
T150	8.9 a	10.4 a	20.8 a

*: Medias por columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de LSD de Fisher con nivel de significancia al 5 %.

El Cuadro 16, muestra la comparación de medias de los incrementos en diámetro del entre-nudo del injerto entre los tres periodos, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en los tratamientos a excepción del primer periodo F2F1. El tratamiento T100 fue mayor y significativamente diferente al tratamiento T150. Sin embargo, los tratamientos de nutrición no tuvieron efecto significativo sobre las medias de los incrementos en altura, ni en las medias de los incrementos en diámetro del entre-nudo del injerto.

Un dato importante que se observó en el arreglo agroforestal fue que en cada tratamiento murieron árboles. En el tratamiento T50 murieron 3 árboles de 10, en el T100 murieron 2 árboles de 10, y en el T150 murió un árbol de 10. Podría decirse que la nutrición de las plantas dio mayor resistencia a aquellos árboles que fueron sometidos a mayores dosis de fertilización.

Otra observación importante fue qué el último trimestre del 2016, los árboles de mango desarrollaron mucho follaje, duplicando su altura y volumen de copa. Esto responde a la mejora en las condiciones atmosféricas reduciendo los factores de

estrés, con periodo más largos de horas luz, mejora en radiación fotosintéticamente activa, mejores temperaturas, humedad, etc.

6 CONCLUSIONES

El suministro de nutrientes para un rendimiento de 9 t ha⁻¹ de grano de maíz, no garantizó que este fuera alcanzado, sin embargo, los tratamientos lograron rendimientos medios de 6.2 a 7.4 t ha⁻¹, muy superiores a los rendimientos en la región (2-5 t ha⁻¹).

Los tratamientos T50, T100, T150 con N y P, no mostraron diferencia significativa en incremento de altura, ni en diámetro en el nudo del injerto, ni en lecturas SPAD, ni entre índices de balance Kenworthy durante el periodo de estudio.

La estrategia de cambio de variedad de mango “Obo” a “Tommy atkins” a media densidad, con maíz en callejones a alta densidad requirió capacidad técnica para el establecimiento del arreglo agroforestal, el uso de maquinaria de labranza fue posible mientras solo se encontraban los árboles de mango, al sembrar manualmente el maíz a alta densidad, la mano de obra se incrementó fuertemente. Los factores bióticos y abióticos influyeron constantemente durante el estudio de ambos cultivos y se requirió manejo para reducir los efectos de estos factores. Se identificó a la temperatura, radiación y plagas (gusano cogollero) como los factores que mayor influencia tuvieron sobre el arreglo agroforestal, se sugiere estudiar los efectos de estos factores.

7 PROPUESTA Y RECOMENDACIONES

Intensificar los sistemas de producción agroforestal, aumentando densidades, conociendo mejor a las especies asociadas, sus componentes y procesos de producción, con el uso de la técnica correcta de intervención permitirá alcanzar el éxito.

En experimentos posteriores de cultivo de maíz en callejones a alta densidad se recomienda una distancia entre surcos de 70-75 cm, reducir la densidad a 77,000 plantas ha⁻¹, fechas de siembra en los meses de junio-julio para mejorar las condiciones de radiación, temperatura y humedad; con respecto a la nutrición se sugiere el uso de mejoradores de suelo (azufre elemental o MO), así mismo evaluar el uso de sulfato de amonio como fuente de fertilizante para estas condiciones.

Para estudios posteriores del mango Tommy Atkins se sugiere ampliar el tiempo de estudio, se recomienda que entre el maíz (en etapa adulta) y el frutal haya un espacio de al menos el diámetro del frutal para que no exista competencia por nutrientes, agua y principalmente radiación. Con respecto a la nutrición se propone el uso de mejoradores de suelo (azufre elemental y MO), el uso de productos quelatados, fertilizantes sulfatados y de lenta liberación, también aumentar la frecuencia de fertilizaciones.

Ante el establecimiento de cultivos intensivos dentro de un arreglo agroforestal, el agricultor debe garantizar espacio suficiente para el desarrollo del potencial genético de la planta, sin subutilizar el terreno. Superficialmente debe garantizar radiación solar de calidad que le permita llevar a cabo la fotosíntesis, llevar a cabo los procesos de intercambio de gases entre la planta y la atmósfera, así mismo debe mitigar aquellos factores de estrés sobre la planta (temperaturas extremas, humedad relativa extremas, plagas, enfermedades, etc.). A nivel suelo el manejo integral debe garantizar la disponibilidad de nutrientes en cantidad y calidad balanceada, debe proporcionar (aportando MO) las mejores condiciones

físicas en estructura y textura del suelo para una buena respiración radicular e intercambio de gases en el suelo y la sobrevivencia de los microorganismos benéficos del suelo. Aportar agua en cantidad y calidad en función de la estructura del suelo, de la demanda del cultivo y de las condiciones atmosféricas.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Alcántar, G. G., & Trejo-Téllez L. I. (2013). Nutrición de cultivos. Biblioteca básica de agricultura, 1ª Edición. Montecillos, Texcoco, Edo México.
- Aldana, M. (2011). Manual Agronómico; Análisis Foliares. Guadalajara, México.
- Alfaro, R. J., & López O. A. (1991). Diagnostico nutrimental en el cultivo del mango (*Mangifera indica L.*), mediante la técnica DRIS y Kenworthy en Cotaxtla, Veracruz. Tesis profesional de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco Edo de México. pp. 75.
- Álvarez-Buylla, E. R., & A. Piñeyro N. (2013). El Maíz En Peligro Ante Los Transgénicos: Un Análisis Integral Sobre El Caso De México. UNAM Centro De Investigación Interdisciplinaria En Ciencias Y Humanidades. Unión De Científicos Comprometidos Con La Sociedad. Universidad Veracruzana, México.
- Avilán-Rovira, L. A., & Rengifo-Álvarez, C. (1992). El cultivo del manguero en Venezuela III. Fertilización. Venezuela. FONAIAP Divulga, 40.
- Bertsch, H. F. (2009). Absorción de nutrimentos por los cultivos. 1 ed. Asociación Costarricense de la ciencia del suelo. San José Costa Rica.
- Chávez, C. X. (1996). Manual para producir limón en el valle de Apatzingán, Michoacán. Agenda técnica num. 3 INIFAP, Parácuaro, Michoacán.
- Chávez, C. X. (1996). Manual para producir limón en el valle de Apatzingán, Michoacán. Agenda Técnica Num. 3 INIFAP, Parácuaro, Michoacán.
- Cirilo, A. G. (2000). Rendimiento del cultivo de maíz. Manejo de la Densidad y Distancia entre Surcos en Maíz. Biblioteca virtual universal. <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210724.pdf>. [Consulta: Ene 2013].
- Contreras, D. O. (2013). Tesis profesional de Licenciatura. Propuesta de manejo de los recursos naturales de San José el Chilar, Cuicatlán, estado de

Oaxaca. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco Edo de México. pp. 127.

Cortés, F., & Cortés, J. I. J. I. (2005). Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas (No. 04; CP, FOLLETO 729.). Colegio de Postgraduados México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Escalante, E. J. A., & Kohashi, S. J. (1993). El rendimiento y crecimiento de frijol, manual para la toma de datos. Centro de Botánica-Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Espíndola, B. M. J. (2007). Tesis de Doctorado. Nitrógeno reducido, AG₃ y carbohidratos solubles en el amarre de frutos de aguacate (*Persea americana Mill.*) "Hass". Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Edo de México.

Espinosa, A. J., Arias, S. J., Miranda, S. M., Rico, P. H., Mercado, J., López, A. A., & Teniente, O. R. (2006). Guía Práctica para la Producción de Mango en Michoacán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP.

FAO. (2001). Primera reunión de expertos sobre documentación y medición de los diversos roles de la agricultura en los países en desarrollo. Proyecto sobre los roles de la agricultura, proyecto ROA. publicación No. 1.

FERNÁNDEZ, J. (2005). Estimación de umbrales económicos para *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (*Lepidoptera: Noctuidae*) en el cultivo del maíz. Universidad de Granma.

Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). (2009). Recomendaciones prácticas para la Fertilización del cultivo de mango. FHIA - La Lima, Cortés, Honduras, C. A. Núm. 3. p. 4.

García, F. O. (2005). Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Presentado en la Jornada "Maíz.

- Guevara-Escobar, A., Barcenas-Huante, G., Salazar-Martínez, F. R., González-Sosa, E., & Suzán-Azpir, H. (2005). Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. *Agrociencia*, 39(4), 431-439.
- Hernández, N., & Soto, F. (2012). Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y la relación fuente-demanda del cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales*, 33(1), 28-34.
- Krishnamurthy, L., Krishnamurthy, K., Rajagopal, I., & Arroyo, G. A. (2003). Introducción a la Agroforestería para el Desarrollo Rural, SEMARNAT, Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. p. 104.
- López-Ridaura, S., Maser, O., & Astier, M. (2001). Evaluando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas integrados: el marco MESMIS. *Revista Leisa de Agroecología*, 16, 25-27.
- Maldonado, T. R. (2001). Tesis de Doctorado. algunos aspectos de la nutrición férrea del limón mexicano (*Citrus aurantifolia*, Christm). Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Edo de México.
- Medina-Méndez, J., Volke-Haller, V., Cortés-Flores, J. I., Galvis-Spínola, A., González-Ríos, J., & Santiago-Cruz, M. (2014). Estado nutrimental y producción de fruto de mango (*Mangifera indica* L.), cv. Tommy Atkins, en suelos luvisoles del estado de Campeche, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(3), 253-268.
- Mendoza, M. D., González, G. A., Santelises, A. A., Barra, J. D. E., & Rincón, J. A. S. (1998). Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra*, 16, 135-141.
- Mendoza, M. D., González, G. A., Santelises, A. A., Barra, J. D. E., & Rincón, J. A. S. (1998). Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra*, 16, 135-141.

- Molina, E. (2007). Análisis de suelos y su interpretación. San José, CR, CIA-UCR-Amino Grow International.
- Montiel, K., Ibrahim, M. (2016). Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático, Sistematización del ciclo de foros virtuales Año Internacional de los Suelos (AIS) 2015. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José (Costa Rica).
- Nain, P. A. (2013). Respuesta De Tres Cultivares De Mango (*Mangifera Indica L.*), A La Aplicación De Fertilizantes Orgánicos. Tesis Doctoral. Colegio De Posgraduados, Montecillos Texcoco, Edo De México. pp. 148.
- SAGARPA, (2012). Sistemas Agroforestales. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Sistemas%20Agroforestales.pdf>. Consultado: marzo del 2015.
- Salazar-García, S., Gutiérrez Camacho, G., BECERRA BERNAL, E., & GÓMEZ AGUILAR, J. R. (1993). Diagnóstico nutricional del mango en San Blas. Nayarit. Rev. Fitotecnia Mexicana. 16, 190-202.
- Salazar-García, S., Santillán-Valladolid, G., Hernández-Valdés, E. F., Medina-Torres, R., Ibarra-Estrada, M. E., & Gómez-Aguilar, R. (2014). Efecto a corto plazo de la fertilización de sitio específico en mangos' Kent'y'Tommy Atkins' cultivados sin riego. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(4), 645-659.
- SEMARNAT, (2002). Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Citada el 04 de febrero del 2015.
- SEMARNAT, (2002). Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

- Soto, F., Hernández, N., & Plana, R. (2009). Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *Aestivum*) y triticale (X *Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 30(3), 32-36.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal*. Editorial Universidad Juame I. vol. II. Pp. 1129. Fisiología del estrés.
- Tanaka, A. & Yamaguchi, J. (1977). Producción De Materia Seca Componentes Con Rendimiento Y Rendimiento De Grano En Maíz. Serie: Hojas Dispersas, Biblioteca Básica De Agricultura. Traductor: Josue Kohashi Shibata. Centro De Botánica Colegio De Posgraduados. Impreso En México. P. 87.
- Torres, J. M. C. (2013). Análisis del programa especial concurrente para el desarrollo rural sustentable en México. *Desarrollo local sostenible*, (18).
- Vázquez-Valdivia, V., Pérez-Barraza, M. H., Osuna-García, J. A., & Urías-López, M. A. (2009). Manejo integral de huertos de mango 'Ataulfo' con altas densidades de plantación. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2), 155-160.
- Vega, E., & Molina, E. (1999). Fertilización nitrogenada en el cultivo de mango var. Tommy Atkins en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 23(1), 37-44.
- Volker, H. V., Etchevers, B. J. D., Sanjuan R. A., & Silva, P. T. (1998). Modelo de balance nutrimental para generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. *Terra*, 16(1).