



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN  
SUELOS**



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

**DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DE TRES SISTEMAS AGROFORESTALES DE  
*Coffea arabica* L. CULTIVADO BAJO SOMBRA VERACRUZ, MÉXICO**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**PRESENTA:**

**EDER AUDATE**

**Bajo la supervisión de: DR. RANFERI MALDONADO TORRES**



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



Chapingo, Texcoco, Estado de México, diciembre del 2016.

**DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DE TRES SISTEMAS AGROFORESTALES  
DE *Coffea arabica* L. CULTIVADO BAJO SOMBRA VERACRUZ, MÉXICO**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO  
SOSTENIBLE**

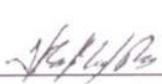
DIRECTOR: \_\_\_\_\_

  
Dr. Ranferi Maldonado Torres

ASESORA: \_\_\_\_\_

  
Dra. María Edna Álvarez Sánchez

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
m.c. José Antonio Torres Rivera

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
Dr. Hugo Ramírez Maldonado

# I Contenido

I Contenido .....	ii
II Índice de figuras .....	vii
III Índice de cuadros .....	ix
IV Índice de apéndices .....	x
V Abreviaturas comúnmente utilizadas .....	xi
VI Dedicatorias .....	xii
VII Agradecimientos .....	xiii
VIII Datos biográficos .....	xiv
IX Resumen general.....	xv
X General Abstract.....	xvi
1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1. La Cafeticultura en México .....	5
2.2. Prácticas de Manejo agrícola en los sistemas agroforestales de café... 6	6
2.2.1. Concepto de sistema.....	6
2.2.2. Técnico eco-fisiológico de la producción de café .....	6
2.2.3. Técnicas de manejo del cultivo .....	7
2.2.4. Cantidad de luz solar.....	7
2.2.5. Calidad de luz solar.....	8

2.2.6.	Sistema de podas de recepas .....	8
2.2.8.	Sistema de múltiples verticales .....	8
2.3.	Importancia de los sistemas agroforestales con café bajo sombra.....	9
2.3.2.	Policultivo tradicional.....	10
2.3.3.	Monocultivo bajo sombra. ....	10
2.3.4.	Policultivo comercial.....	10
2.3.5.	Cultivo a plena exposición solar.....	10
2.4.	Sostenibilidad de los sistemas agroforestales .....	10
2.4.1.	Beneficios biológicos y físicos.....	11
2.4.2.	Ciclaje de nutrientes.....	11
2.4.3.	Características del suelo .....	12
2.5.	Problemática de La producción de los cafetales.....	13
2.5.1.	Deficiencias hídricas en el suelo .....	14
2.5.2.	Manejo agroecológico de plagas y enfermedades del cultivo de café. 14	
2.5.3.	Manejo de plagas del cultivo de café .....	15
2.5.3.1.	Broca del Fruto (Hypothenemus hampei).....	15
2.5.3.2.	Epidemia de roya .....	16
2.6.	Nutrición de los sistemas agroforestales de café.....	16
2.6.1.	Componentes arbóreos fijadores de nitrógeno atmosférico .....	18
2.6.2.	Fertilizantes para el cafeto .....	19
2.6.3.	Movilidad de los elementos .....	19

2.6.4.	Funciones de los nutrientes en el cafeto .....	20
2.6.5.	Síntomas de deficiencia de algunos elementos en el cafeto .....	20
2.6.6.	Agua y nutrimento. ....	22
2.6.7.	El diagnostico visual.....	22
2.7.	Literaturas citadas .....	24
3.	ARTÍCULO.....	28
	DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DE TRES SISTEMAS AGROFORESTALES DE <i>Coffea arabica</i> L. CULTIVADO BAJO SOMBRA VERACRUZ, MEXICO	28
3.1.	Resumen .....	28
3.2.	Abstract.....	29
3.3.	Introducción .....	30
3.4.	Materiales y métodos.....	32
3.4.1.	Descripción del área de estudio. ....	32
3.4.2.	Síntesis de la metodología del experimento.....	33
3.4.3.	Método de muestreo de suelo .....	34
3.4.4.	Muestreo foliar de los cafetos .....	36
3.4.5.	Diagnóstico visual de los tres sistemas agroforestales .....	38
3.4.6.	Descripción de los tratamientos .....	40
3.4.7.	Dosis de aplicación .....	41
3.4.9.	Análisis de tejidos y diagnostico nutrimental final de los tres sistemas agroforestales.....	45
3.4.10.	Diseño experimental y análisis de datos .....	47

3.4.11. Índice del balance de Kenworthy.....	48
3.4.12. Variables evaluadas.....	49
3.4.13. Caracterización de los sistemas agroforestales .....	49
3.5. Resultados y Discusiones.....	51
3.5.1. Diagnóstico nutrimental del suelo y foliar inicial de los tres sistemas agroforestales.....	51
3.5.2. Diagnóstico nutrimental foliar inicial y final de los tres sistemas agroforestales.....	54
3.5.3. Efecto de la interacción de tratamientos en los tres sistemas agroforestales.....	56
3.5.4. Correlación entre variables de manejo y concentración de nutrimental en los tres sistemas .....	59
3.5.5. Efectos de los tratamientos sobre los tres sistemas agroforestales	61
3.5.6. Descripción del manejo de cultivo de café en los sistemas agroforestales.....	61
3.5.7. El sistema agroforestal I.....	62
3.5.8. El sistema agroforestal II.....	62
3.5.9. El sistema agroforestal III.....	62
3.5.10. Aspecto asociativo de los árboles fijadores de nitrógeno atmosférico.	65
4. CONCLUSIÓN.....	66
5. ITERATURAS CITADAS.....	68

6.	APÉNDICES.....	78
----	----------------	----

## II Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de los tres sistemas agroforestales (Google Earth, 2015).	32
Figura 2. Tomando muestras de suelo. ....	34
Figura 3. Procedimientos de preparación de las muestras de suelo.....	34
Figura 4. Colecta de muestras de tejidos de los cafetos y procedimientos de laboratorio.....	36
Figura 5. Molienda de muestras de tejidos vegetales del muestreo inicial de los tres sistemas agroforestales. ....	37
Figura 6. Digestando las muestras de tejidos vegetales de café. ....	37
Figura 7. Diagnóstico visual de los sistemas agroforestales.....	38
Figura 8. Croquis de campo e identificación de los tratamientos.....	39
Figura 9. Identificación de los tratamientos, .....	39
Figura 10. Técnicas de identificación de los tratamientos.....	40
Figura 11. Uno de los fertilizantes comúnmente aplicado.....	40
Figura 12. Muestreo de Campo al azar en el sistema I, 🌳 = Árbol de Poro, 🌿 = Café y ● = punto de muestreo, en el sistema II, 🌳 = Árbol de Grevillea y en el sistema III con 🌳 = Palo mulato, 🌳 = Cedro Rojo, 🌳 = Inga.....	41
Figura 13. Representación de los fertilizantes del tratamiento nutrimental.....	42
Figura 14. Fertilizantes tradicionales y modo de aplicación en suelo. ....	42
Figura 15. Preparando la mezcla de los fertilizantes para aplicar en el suelo. .	43
Figura 16. Aplicación foliar de los fertilizantes .....	43

Figura 17. Aplicación de los fertilizantes al suelo en los cafetos.....	43
Figura 18. Medición de alturas de los componentes arbóreos y manejo de las parcelas. ....	44
Figura 19. Colecta final de tejidos vegetales. ....	44
Figura 20. Análisis finales de laboratorio de tejido vegetale. ....	45
Figura 21. Molienda de muestras de tejido vegetal de café.....	46
Figura 22. Sistema agroforestal I.....	49
Figura 23. Determinación de las prácticas de manejo .....	50
Figura 24. Sistema agroforestal III.....	50
Figura 25. Sistema agroforestal II.....	50
Figura 26. Prueba de comparación de media para Ca .....	78
Figura 27. Prueba de comparación de media para Magnesio. ....	78
Figura 28. Efecto del tratamiento nutrimental en el sistema II. ....	85
Figura 29. Identificación del efecto de los tratamientos. ....	85
Figura 30. Alturas de los tratamientos nutrimentales con respecto a los demás tratamientos en el sistema I. ....	85
Figura 31. Diferenciación de los tratamientos nutrimentales y tradicional en el sistema III.....	86
Figura 32. Diagnóstico visual del efecto de los tratamientos nutrimentales en los sistemas II y III.....	86

### III Índice de cuadros

Cuadro 1. Metodología para análisis físico de muestras de suelos de los sistemas agroforestales de café, en la Patrona Huatusco, Veracruz 2016. ....	35
Cuadro 2. Métodos laboratorios de análisis químico de las muestras de suelos de los sistemas agroforestales de café, en la Patrona Huatusco, Veracruz 2016 .	35
Cuadro 4. Interpretación de los análisis de suelo. ....	51
Cuadro 5. Interpretación de análisis inicial de tejidos de vegetales .....	53
Cuadro 6. Diagnóstico nutrimental inicial y final por el índice del balance de Kenworthy de los tres sistemas agroforestales.....	55
Cuadro 7. Cuadro comparativo de los niveles significancias de los tratamientos en los tres sistemas agroforestales.....	57
Cuadro 8. Nivel significancia del efecto de los tratamientos. ....	58
Cuadro 9. Nivel de interpretación final de los tres tratamientos en los tres sistemas agroforestales. ....	58
Cuadro 10. Nivel significancia del efecto de los sistemas agroforestales .....	60
Cuadro 11. Medias de las variables nutrientes en los tres sistemas.....	61

## IV Índice de apéndices

Apéndice 1. ANOVA para Calcio. ....	78
Apéndice 2. ANOVA para Magnesio.....	78
Apéndice 3. Concentración nutrimental de Coffea arábica en los tres sistemas agroforestales .....	79
Apéndice 4. Datos de caracterización de los cafetos del sistema I.....	81
Apéndice 5. Datos de caracterización de los cafetos del sistema II.....	81
Apéndice 6. Datos de caracterización de los cafetos del sistema III.....	82
Apéndice 7. Componentes arbóreos en el sistema I.....	82
Apéndice 8. Componentes arbóreos en el sistema II.....	83
Apéndice 9. Componentes arbóreos en el sistema III.....	84
Apéndice 10. Correlación entre variables de manejo y concentración.....	90
Apéndice 11. Datos de alturas y diámetros de los componentes de sombra en los tres sistemas agroforestales. ....	91

## V Abreviaturas comúnmente utilizadas

Sistema agroforestal	SAF
Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas	CONANP
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura	FAO
Desviación estándar	DSF
Radiación	R°
Temperatura	T°
Humedad	H°
Sistema	Sist.
1,2 y3	I, II y III
Clasificación	Clas.
No significativo	NS
Tradicional	A
Nutrimental	V
Testigo	B
Repetición	Rep.
Unidad Experimental	UE
Profundidad	Prof.
Centímetro	cm
Metro	m
Quintal	qq

## VI Dedicatorias

A Dios todo poderoso por su bendición hacia mí desde siempre.

A mi familia, mis padres, especialmente a mi madre Erida Jean Simón, por todos los esfuerzos brindados desde mi nacimiento representando el rol de padre y madre.

A mi hermana Josie Audate, mi hermano Bruno Rijkaard Audate, mi primo Alain Jean Simón, mi segunda madre Arimene Fleurival y su hijo Christian Fleurival, Simone, por sus apoyos durante toda mi estadía acá en México.

A mis primos Charles Cyrille y Immacula Charles Glaude por sus apoyos a mi estudio de maestría y de la licenciatura.

A todos los profesores de la maestría, Dr. Lara bueno, Dr. Miguel Uribe, Dr. Cristóbal Acevedo, Dr. Rosita García Núñez, Dr. Artemio Cruz, Dr. Juan Antonio leos Rodríguez, Dr. Dante Arturo Bosques, Dr. David Gómez entre otros, por sus buenas enseñanzas, que me impulsaron a confrontar los problemas ambientales y transformarlos en oportunidad de solución sostenible.

A mis compañeros de la maestría. Saudisaref Moreno, Mario Campos Ugalde, Pascual Cruz Sánchez, Ociel Contreras Domínguez, Hilario Caamal Canche, por sus buenas compañías en la maestría, espero pronto nos volveremos a encontrar en el ámbito de desarrollo agrícola y científico internacional.

A Lolis Dolores Coronel Sánchez (Lolita) y Normita del posgrado de la Agroforestería por sus aportes del ingreso y a mis tramites de titulación de la maestría.

A mis amigos y familiares de Haití por sus lindos consejos a impulsarme hacia adelante durante mis estudios, ayudándome en todo. Especialmente a las familias Audate, Jean Simon, Larins, Titus, Joseph, Noel, Jean Jacques, Charles, Glaude, Emilien, Pierre, Altidor, lee, Menard entre otras.

A todos mis amigos y amigas de Chapingo, UNAM y en México en general por sus aportes a mi estadía por acá, de verdad me sentía como en casa.

## VII Agradecimientos

A la fundación Heinrich Boell, por el apoyo de su Programa de Becas Sur Place, dirigida a personas de Centroamérica y el Caribe que quieran cursar estudios de maestría en México.

A la fundación FOKAL por su apoyo económico ayudándome a cursar mis estudios de maestría.

Al pueblo de México lindo y querido en general por la amabilidad conmigo, adonde voy siempre hay persona dispuesta para orientarme.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su beca completa de maestría.

A la coordinación del posgrado de la maestría en Ciencias en agroforestería para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Autónoma de Chapingo por tantos apoyos muy importantes a continuar con mi desarrollo profesional

A la coordinadora de la maestría Dra. María Edna Álvarez Sánchez, por su saber hacer y enseñarme el buen camino de la vida, de mi parte fue una experiencia incomparable, gracias Dra. Edna y los aportes en mi investigación me servirán mucho en toda mi vida como profesional competente.

Al Dr. Ranferi Maldonado Torres, por aceptar de ser mi Director de la tesis, mi profesor de nutrición, compartiendo sus experiencias y consejos para mejorar mi desarrollo académico, sus enseñanzas siempre me llevan a pensar en el fortalecimiento de un mundo fuerte capaz de responder a cualquier preocupación.

A Dr. Hugo Maldonado, por sus explicaciones tan explícitas en sus clases y en los aportes de estadísticos en mi investigación. Siempre está dispuesto para orientarme hacia el avance de mi investigación.

Al distinguido profesor del CRUO, M.C José Antonio Torres Rivera, quien aceptó a apoyarme en Huatusco para dirigir esta investigación, siempre se le llevo en mi corazón por ser tan amable y dispuesto a apoyarme en mis necesidades.

A Erika, asistente en el laboratorio de nutrición en Suelos por su colaboración en el análisis de las muestras de suelo y tejido vegetal.

A Francisco de la Vequia dueño de la finca y los productores, por permitirme realizar esta investigación en sus parcelas, gracias por compartir sus experiencias con el cultivo de café conmigo.

## VIII Datos biográficos

### Datos personales

**Nombre:** EDER AUDATE

**Fecha de nacimiento:** 01 de junio del año 1983



**Lugar de nacimiento:** Carice, Nordeste de la República de Haití

**CURP:** AUXE830601HNEDXD02

**Profesión:** Ingeniero agrónomo (Fitotecnia)

**Religión:** Católica

**Tipo de sangre:** O +

**Pasaporte :** PP3148993

**Email :** [ederaudate@gmail.com/al14131943@chapingo.mx](mailto:ederaudate@gmail.com/al14131943@chapingo.mx)

**Teléfono:** +5215951137420/ 50938327420.

### Desarrollo académico

**Licenciatura:** Fitotecnia en Universidad ISA, Santiago de los Caballeros de la República Dominicana.

**Maestría:** Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

## IX Resumen general

### DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DE TRES SISTEMAS AGROFORESTALES DE *Coffea arabica* L. CULTIVADO BAJO SOMBRA VERACRUZ, MEXICO

### NUTRITIONAL DIAGNOSIS OF THREE AGROFORESTRY SYSTEMS OF *Coffea arabica* L. FOR SHADE GROWN VERACRUZ, MEXICO

Este estudio se realizó con el objetivo de diagnosticar el estado nutrimental de tres sistemas agroforestales (*Grevillea robusta*+ *Coffea arabica* L.), (*Erythrina poeppigiana* + *Coffea arabica* L.), (*Bursera simaruba* + *Acrocarpus fraxinifolius* + *Inga spp* + *Coffea arabica* L.) para proponer un manejo óptimo de la producción de café cultivado bajo sombra. Se diseñaron tres tratamientos de fertilización para cada sistema agroforestal: (a) testigo sin fertilización, (b) fertilización tradicional del productor y (c) fertilización óptima, éste último a partir del diagnóstico nutrimental del suelo y de tejido vegetal. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con 3 repeticiones, donde cada unidad experimental estuvo conformada por cuatro árboles. Las variables evaluadas fueron: el estado nutrimental del suelo y del tejido foliar al inicio del ciclo productivo, al final del ciclo productivo la concentración nutrimental foliar y la respuesta a la fertilización a través de la altura de tallos, número de tallos y diámetro. Para el sistema I, el orden de requerimiento nutricional al inicio del ciclo productivo fue: N>Cu>Zn<Ca>Mg>B>Mn>P>Fe>k>S, en el sistema II fue: N>Cu>Zn>Ca>Mg>B>P>Mn>K>S>Fe mientras en el sistema III fue: N>Ca>Zn>Cu>Mg>B>P>Mn>k>Fe>S. La fertilización óptima no tuvo influencia sobre las variables de respuesta de los árboles. El índice de balance Kenworthy final, mostró que se corrigieron las deficiencias nutrimentales iniciales de Ca, Mg y Fe, pero se incrementaron a nivel de exceso el K, Fe, S. Las correlaciones entre los variables nutrimentales y de respuesta del cultivo, mostraron que existe poca variación en las prácticas de manejo de los sistemas agroforestales estudiados.

**Palabras Claves:** Diagnóstico nutrimental, sistemas agroforestales, Café bajo sombra, índice del balance de Kenworthy.

---

Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible.

Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Eder Audate

Director: Dr. Ranferi Maldonado torres

## X General Abstract

This study was carried out to evaluate the nutritional status of three agroforestry systems (*Grevillea robusta* + *Coffea arabica* L.), (*Erythrina poeppigiana* + *Coffea arabica* L.), (*Bursera simaruba* + *Acrocarpus fraxinifolius* + *Inga spp* + *Coffea arabica* L.) to propose an optimal shade-grown coffee production management system. Three fertilization treatments were designed for each agroforestry system: (a) control without fertilization, (b) traditional fertilization of the producer and (c) optimum fertilization, the latter based on the nutritional diagnosis of soil and plant tissue. The treatments were distributed in a completely randomized design with tree replicates, where each experimental unit consisted of four trees. The variables evaluated were the nutritional status of the soil and foliar tissue at the beginning of the productive cycle, at the end of the productive cycle the foliar nutritional concentration and the response to fertilization through stem height, number of stems and diameter. For the first system, the order of nutritional requirement was N>Cu>Zn<Ca>Mg>B>Mn>P>Fe>K>S, for the second system it was N>Cu>Zn>Ca>Mg>B>P>Mn>K>S>Fe, and for the third system it was N>Ca>Zn>Cu>Mg>B>P>Mn>k>Fe>S. Optimal fertilization had no influence on the response variables of the trees. The final Kenworthy's balance index showed that the initial nutritional deficiencies of Ca, Mg, and Fe were corrected, but that K, Fe and S increased to an excess level. The correlations between the nutrient and crop response variables showed that there is little variation in the management practices of the agroforestry systems studied.

**Keywords:** Nutritional diagnosis, Agroforestry systems, Shade-grown coffee, Kenworthy's balance index.

# 1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El de café se cultiva por más de 20 millones de productores en 56 países y la mayoría de productores cafetaleros hacen un inadecuado manejo de las plantaciones de café lo que deteriora el ambiente, provocando el desequilibrio de los agroecosistemas (Velázquez, 2015). Especialmente el uso irracional de los productos químicos pone en riesgo la salud de productores y consumidores de café, y de organismos que en muchos casos son depredadores de plagas y enfermedades, elevando costos de producción y bajando la rentabilidad del cultivo (Castillo et al., 2013). Actualmente se tienen suelos nutrimentalmente pobres, lo que demanda más uso de insumos, menor rentabilidad y menor calidad de vida para los agricultores. El efecto de la pérdida de suelo sobre la producción de los cultivos de café está relacionado con la disminución de la cantidad de materia orgánica, incremento de los contenidos de arcilla, disminución de la capacidad para almacenar agua y la disponibilidad de nutrientes para la planta.

En Huatusco, la precipitación pluvial intensa de esta zona está en un rango de 2, 4000 a 3, 100 mm causa erosión en la capa superficial del suelo y lixivia cantidades considerables de nutrimentos hacia los horizontes inferiores de la capa terrestre, reduciendo su fertilidad. Por otra parte, los cambios en el pH del suelo pueden hacer insolubles a algunos nutrimentos, mientras que a otros puede liberarlos en cantidades tóxicas. Debido a que el cafeto es una planta extremadamente susceptible a problemas de nutrición, la complejidad del suelo es causa de severos inconvenientes para su cultivo (Campos, 2005). Ordaz, Valdés, Hernández y Pérez (2005) encontraron que el consecuente deterioro de la fertilidad, puede provocar bajos rendimientos por unidad de superficie, lo que se suma a la problemática de su bajo precio comercial, agravando las condiciones de pobreza de las regiones.

El cultivo de café, es uno de los principales productos agrícolas de México, debido a que es una actividad altamente generadora de empleos y autoempleos, por concepto de limpia, poda, control de plagas, corte del café y en algunos casos fertilización del cultivo. México ocupa el séptimo lugar en producción de café, después de Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia, India y Etiopía, con una participación en los últimos años de poco más de 4 millones de sacos (García, 2014).

Figueroa, Pérez y Godínez (2016), encontraron que, el cultivo del café en México, aproximadamente el 95 % de la producción de café se obtiene de la especie arábica y el 5 % corresponde a variedad robusta, se desarrolla en doce estados reconocidos, de los cuales Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero e Hidalgo son los principales productores. La superficie de cultivo es superior a 688,700 ha, distribuidas en 58 regiones y 404 municipios, lo que genera numerosos empleos en el campo, además de ser la principal fuente de ingresos de muchos pequeños productores y de 17 grupos indígenas del país (Morales, 2015). En 2014 y 15 se produjo café en 16 entidades, en cinco de éstas se concentró el 93.6 % de la oferta nacional: Chiapas (36.9%), Veracruz (26.9 %), Puebla (17.5 %), Oaxaca (8 %) y Guerrero (4.4 %). Durante los últimos 10 años, la producción de café cereza en Chiapas disminuyó a una tasa promedio anual de 5 %, en Veracruz 1.5 %, en Puebla y Oaxaca 6.2 % y en Guerrero 0.7 % (Figueroa et al., 2016). La cosecha en 2014 y 15 en Veracruz disminuyó 21.1 % con respecto a la cosecha 2013/14, al ubicarse en 278,975 toneladas, es decir, su nivel mínimo desde 1979 y 80 López, Martínez y Villar Lago (2015).

Sanz, Mejía, García, Torres y Calderón (2012), citaron que en el estado de Veracruz por su valor de la producción se ha encontrado un área de oportunidad en los mercados exteriores. La mayor parte de la producción se obtuvo en los municipios de Coatepec (8.1%), Aztlán (7.9%), Tezonapa (7.5%), Huatusco (5%) y Juchique de Ferrer (4.1%) que en conjunto aportaron 32.5% del café. Entre 2004 y 2008 se registró una caída continua en los niveles de producción,

resumida en una tasa anual promedio negativa en 5.2% misma que se recuperó en 2009 con un incremento de 9.6% en el volumen cosechado.17 %.

Con base en la problemática anterior, el objetivo de esta investigación fue diagnosticar el estado nutrimental de tres sistemas agroforestales (*Grevillea robusta*+ *Coffea arábica* L), (*Erythrina poeppigiana* + *Coffea arábica* L), (*Bursera simaruba* + *Acrocarpus fraxinifolius* + *Inga spp* + *Coffea arábica* L) mediante análisis de suelos y foliares para proponer una dosis de fertilización y manejo óptimos de la producción de café cultivado bajo sombra en la zona de la Patrona, Huatusco, Veracruz, México.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diagnosticar el estado nutrimental de tres sistemas agroforestales (*Grevillea robusta*+ *Coffea arábica* L), (*Erythrina poeppigiana* + *Coffea arábica* L), (*Bursera simaruba* + *Acrocarpus fraxinifolius* + *Inga spp* + *Coffea arábica* L) mediante análisis de suelos y foliares para proponer una dosis de fertilización y manejo óptimos de la producción de café cultivado bajo sombra en la zona de la Patrona, Huatusco, Veracruz, México.

### **Objetivo específico I**

Caracterizar las prácticas de manejo de la producción agrícola en los sistemas agroforestales de café cultivado bajo sombra para proponer un manejo integral e incrementar de la producción.

### **Objetivo específico II**

Determinar el estado nutrimental del suelo de los tres sistemas agroforestales de café bajo sombra, para proponer una dosis de fertilización óptima que aumente el rendimiento y calidad de cosecha.

### **Objetivo específico III**

Determinar el estado nutrimental foliar de los tres sistemas agroforestales de café bajo sombra, después de la optimización de la nutrición, mediante el diagnóstico foliar de acuerdo con el índice del balance de Kenworthy.

### **Hipótesis**

Que al menos uno de los tratamientos de fertilización mejora el desarrollo del tallo en altura y diámetro, así como el estado nutrimental del cultivo.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. La Cafecultura en México

El café representa el segundo producto de importancia en el mercado internacional, después del petróleo en exportación y generación de divisas Aguirre, Aguirre, Cadena y Avendaño (2012). La producción de café es la principal actividad económica de más de 4 557 comunidades de 12 estados de México, de éstas, el 60% son de población indígena, cuyas prácticas ancestrales de formas de cultivar la tierra, son altamente conservacionistas del medio ambiente (Aguirre et al., 2012). La cafecultura tiene una enorme trascendencia cultural y ecológica y un número importante de indígenas sustentan la producción (Ordaz et al, 2005). El 65% de los productores, localizados en 94 municipios del país, se constituyen mayoritariamente de población indígena (75% de su población) y en otros 106 municipios la población indígena, ocupa por lo menos 25% del total (García, 2015).

Los sistemas de producción predominantes son de baja tecnificación por un lado con 8 qq ha<sup>-1</sup> en promedio nacional. El principal costo en la producción es el pago de jornales para realizar labores culturales y la cosecha que en algunas unidades productivas llega a representar hasta el 93% del costo total de producción (Castillo et al., 2013). Los productores de café se han interesado en remplazar la diversidad de sombra natural en monocultivos con especies del género *Inga*, en el supuesto de que, con dicha práctica, obtendrán mejores rendimientos de café que con sombra diversificada. Romero, Soto, García y Barrera (2002) mencionaron que, el rendimiento de los diferentes sistemas de sombreado es poco conocido. SAGARPA (2005) registró una tipología de cafecultores mexicanos, donde se denotan características muy peculiares: el 63% de los productores en el país son minifundistas, con predios de una hectárea de producción; por otro lado, el 0.6% de los cafecultores poseen el 14% de la superficie cafetalera, con predios de más de 10 hectáreas por productor.

En el país se registran 12 estados productores de café, los cuales son: Chiapas, Colima, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz. En el censo de 2004, se registró que entre estos 12 estados cultivaban más de 667 mil hectáreas. El Padrón Nacional Cafetalero registra datos del 2006 de productores empadronados, destacando Chiapas, Oaxaca y Veracruz (García, 2015).

## **2.2. Prácticas de Manejo agrícola en los sistemas agroforestales de café**

### **2.2.1. Concepto de sistema**

Un sistema es un todo, o una estructura organizada de varios componentes relacionados, que derivan productos para satisfacer las necesidades del hombre (DaMatta & Rodríguez, 2007).

### **2.2.2. Técnico eco-fisiológico de la producción de café**

El cafeto produce la primera buena cosecha a los cinco años de edad. Después de ese año mantienen una producción constante por 15 o veinte años más. Algunas plantas pueden producir un kilo o más de buenas semillas al año. El café requiere un clima cálido, pero con alto nivel de humedad. El sol no debe llegar directamente a la planta; para ello se plantan distintos árboles de sombra junto a los cafetos (Somarriba et al., 2012). El follaje del café optimiza lo que promueve un mejor rendimiento. El café por ser originario de los bosques sombríos africanos, se comporta mejor bajo niveles de sombra adecuados. La sombra densa tiene efectos negativos sobre la producción del cafeto y el exceso de radiación solar dificulta la producción sostenida, reduciendo la longevidad del Cafeto (ANACAFE, 2010).

Los factores eco-fisiológicos que determinan las condiciones óptimas que le permiten a un cafetal producir de manera sostenida, son:

- Cantidad, calidad y duración de la luz solar (fotoperiodismo).
- Temperatura del ambiente, del suelo y de las hojas del cafeto.
- Humedad relativa del ambiente y del suelo.
- Relación entre la duración del día y la noche (el cafeto es una planta de día corto).

La relación entre los períodos de lluvia (invierno) y los períodos secos (verano), hidroperiodismo (Somarriba et al., 2012). Los factores anteriores, afectan el trabajo fotosintético de la planta, dando como resultado otras reacciones en la planta, tales como: inducción y formación de cojines florales, apertura y cierre de los estomas de acuerdo a las condiciones prevalecientes y transpiración de los cafetos (ANACAFE, 2010).

#### 2.2.3. Técnicas de manejo del cultivo

Se puede afirmar que, en todos los climas, topografías, suelos y clases de explotación, se requieren prácticas y obras de conservación ya sea para remediar o prevenir la erosión, para aprovechar mejor los suelos y las aguas o para la protección del medio ambiente (Somarriba et al., 2012).

#### 2.2.4. Cantidad de luz solar

Con poca intensidad hay poca apertura de estomas de las hojas, baja la actividad fotosintética, se reduce la energía y el estímulo del metabolismo de la planta. Borbón, Castro y Rojas (2001) mencionaron que, a medida que la luz solar aumenta, se intensifican y mejoran las funciones metabólicas del cafeto. Bajo la luz solar directa, la temperatura de las hojas puede ser más alta que la del ambiente. Esto se aprecia durante el verano, cuando en lugares cálidos y secos las hojas del cafeto se deshidratan tornándose flácidas (Borbón et al., 2001).

#### 2.2.5. Calidad de luz solar

La sombra filtra y modifica la calidad de la luz que reciben los cafetos. La luz solar influye significativamente sobre la diferenciación de las yemas, lo cual ocurre entre noviembre y diciembre (INEGI, 2010). En este período la yema vegetativa recibe el estímulo de días cortos, transformándose en una yema reproductiva o floral. Entre enero y febrero los botones florales crecen muy poco, y permanecen en latencia por efecto de la sequía. Hernández- Rosales (2015) encontraron que, desde fines de febrero hasta abril, al avanzar la sequía, y por estímulo de pequeñas lluvias (desde 10 milímetros).

#### 2.2.6. Sistema de podas de recepas

Este sistema consiste en podar totalmente la planta de café a una altura de 40 a 45 cm del suelo (Castillo et al., 2013). Facilita establecer ciclos de renovación, podas ordenadas y bien definidas. Dentro de este método existen variantes, entre las cuales se pueden mencionar: Recepa por surco, Recepa por parcela, Recepa intercalada (Castillo et al., 2013).

#### 2.2.7. Sistema de parras

Este sistema de poda consiste en el agobio de los brotes en sus primeros años; se llega a darle la forma de parra al arbusto de café a través de agobios y re-agobios de los brotes (Sarukhán et al., 2009) (Castillo et al., 2013).

#### 2.2.8. Sistema de múltiples verticales

Un cafeto se maneja con un máximo de cinco o seis brotes verticales, consiguiendo los primeros tres brotes, A través del agobio de alambre de las plantas de café de tres a cuatro años de edad; la cola se elimina dos a tres años después de obtener los primeros brotes (Sarukhán et al., 2009).

### 2.3. Importancia de los sistemas agroforestales con café bajo sombra

El café es cultivado especialmente en tierras altas y fértiles. En los cafetales manejados bajo este sistema, los caficultores utilizan diferentes tipos de árboles. Contreras y Osorio (2015) comentaron que el uso de sistemas de café con sombra da respuesta a los fenómenos que ha experimentado la caficultura moderna en la última década. Casi imposible conseguir una recomendación general para aplicarla en todos los casos, así como que se nos ofrezca una para cada caso (Contreras & Osorio, 2015). Descroix y Snoeck (2008) citaron que se requiere sombreado para reducir las variaciones térmicas, el manejo de la intensidad de luz desempeña un papel importante en la regulación del metabolismo fisiológico del género *Coffea*, sin embargo, no es fotosensible. Zamarripa y Escamilla (2002) relataron que en México se produce hasta ahora a un 96% de café arábica y un 4% de café robusta. El café arábica, tiene mayor valor en los mercados nacional e internacional. Produce una bebida suave, con gran aroma y acidez y un cuerpo mediano agradable y exquisito sabor. Cada una de sus variedades confiere a la taza características diferentes. Algunas de las variedades de esta especie son: Typica, Bourbon y Mundo Novo (Zamarripa et al., 2002). Fúnez, García y Díaz (2010) mencionaron que el café robusta se considera de menor calidad, produce una bebida con poco aroma y sabor y mucho cuerpo. Un café arábigo tostado contiene menos cafeína que una robusta. Typica, también la conocemos como café criollo o arábico. Se pueden distinguir varios tipos básicos de sistemas de producción cafeteros, que varían de acuerdo a la cantidad de sombrero y el tipo de dosel en México:

#### 2.3.1. Cultivo rústico

El café es cultivado en el bosque existente con poca alteración de la vegetación nativa. Las especies arbóreas son diversas, con un promedio de 25 especies por unidad de área. La sombra normalmente se establece en tres o más estratos (capas de vegetación). El porcentaje de sombra es del 70% al 100% (Soto et al., 2009).

### 2.3.2. Policultivo tradicional

El café se cultiva bajo una combinación de árboles de bosque nativos y árboles plantados; éstos también incluyen gran diversidad de otras especies de plantas, incluidas frutales, hortalizas, otras leguminosas, tanto para el consumo del caficultor como para su venta en el mercado, leña, plantas medicinales, alimentación animal (Contreras & Osorio, 2015).

### 2.3.3. Monocultivo bajo sombra.

Nuberg, George & Reid (2009) relataron que son densas plantaciones de café bajo una o máximo dos especies de árboles (por lo general Inga); los árboles son fuertemente podados para permitir el ingreso de luz al cultivo. Las epífitas son generalmente removidas. El porcentaje de sombra es del 10% al 30%.

### 2.3.4. Policultivo comercial.

En estos sistemas se hace eliminación de un mayor número de árboles con el fin de aumentar el número de plantas de café por hectárea; los árboles son plantados y explotados con fines comerciales (Nuberg et al., 2009).

### 2.3.5. Cultivo a plena exposición solar.

En este sistema no hay una cobertura de árboles o éstos se encuentran muy aislados. El porcentaje de sombra es del 0% (Soto et al., 2009).

## 2.4. **Sostenibilidad de los sistemas agroforestales**

La sustentabilidad de un sistema de producción rural corresponde a su capacidad para satisfacer las necesidades de la humanidad, sin afectar, las necesidades de la humanidad, de ser posible, mejorar el recurso base del que depende el sistema. Sin importar el sistema de clasificación empleado en los sistemas agroforestales, es primordial realizar un análisis simple de los SAF, denominado análisis estructural de los sistemas (Soto et al., 2009).

El Centro Mundial de Agroforestería antes ICRAF, define a la agroforestería como un sistema dinámico basado ecológicamente en el manejo de los recursos naturales, que a través de la integración de los árboles y su paisaje agrícola en las parcelas, así como de la diversificación y producción sostenible, con fines de incrementar los beneficios socio-económicos-ambientales de los agricultores a todos los niveles (agroecológico – socioeconómico) (Farfán, 2010).

#### 2.4.1. Beneficios biológicos y físicos

Ordaz, Valdés, Hernández y Pérez (2005), señalaron que el 98% del cultivo de café ha sido producido bajo sombra desde que se introdujo en México. Por las condiciones topográficas de las regiones cafetaleras, es imposible el uso de maquinaria, evitando así un impacto mayor al suelo (Ordaz et al., 2005).

También Licona et al., (2007) mencionaron que más allá de la importancia social y económica que tiene la cafecultura en México, sobresale la contribución actual y potencial en la conservación de importantes áreas con vegetación que proporcionan servicios ambientales como control de erosión en el suelo, captación de agua, mantenimiento de la biodiversidad y captura de carbono. Lo anterior enmarca una gran importancia ambiental a nivel estatal y nacional (Quevedo, 2010). A pesar de que la práctica de dejar algunos árboles de sombra en los pastizales del trópico seco es muy difundida, y que abunda la información empírica sobre el uso de la sombra por el ganado, no se ha trabajado este punto en forma experimental (Manson, 2008).

#### 2.4.2. Ciclaje de nutrientes

Ferrari y Wall (2015), demostraron que la importancia de la poda de los árboles como medio de acelerar el ciclo de los nutrientes, lo que se refleja en una mayor eficiencia de utilización de los insumos aplicados. Revisaron los componentes leguminosos en los sistemas en el establecimiento de AFN no necesariamente constituye la única política de rehabilitación de suelos degradados, muchas veces se necesitan tareas adicionales (con su correspondiente costo) (Manson, 2008).

### 2.4.3. Características del suelo

Pérez y Suárez (2011), han demostrado que básicamente, el suelo es un medio de enraizamiento y un sitio de almacenamiento de agua y nutrimentos. Por esta razón es esencial facilitarle a la planta que desarrolle sus raíces tanto lateralmente como en profundidad para que exploren suficientemente el suelo y extraigan de éste el máximo de nutrimentos y también es necesario además que el suministro de agua sea el adecuado.

Propiedades físicas: el suelo ideal para el cultivo de café es uno con 50 cm de profundidad, 50 % de porosidad, 45 % de sustancia mineral y 5 % de materia orgánica (Pérez et al., 2011). Las características físicas estructurales de los suelos, son mejoradas por la incorporación de materia orgánica, y por la actividad biológica de los microorganismos y fauna menor (ANACAFE, 2010).

Propiedades químicas: Para el buen crecimiento del cafeto es necesaria la disponibilidad de nutrientes. La descomposición de ciertos compuestos orgánicos, mantienen un nivel adecuado de aniones. La pérdida de materia orgánica, la acidificación, el aumento de la solución de hierro y aluminio, y la presencia de arcilla de baja actividad, en los suelos tropicales, reducen la fertilidad de los mismos (Manson, 2008).

Propiedades biológicas: En el suelo viven un gran número de organismos grandes y pequeños, que participan activamente en los procesos de transformación de materia orgánica y la transferencia de energía. Son muy importantes para el buen desarrollo de la planta (ANACAFE, 2010). Entre los principales microorganismos están: La lombriz de tierra, que descompone materia orgánica por su tracto intestinal y mejora la porosidad del suelo (Pérez et al., 2011).

## 2.5. Problemática de La producción de los cafetales

Algunos pequeños productores de café desplazaron recursos de sus parcelas de café y para destinarla en los cultivos de subsistencia o en otras actividades generadoras de ingresos. Sin embargo, como el café representa el capital invertido, muchos agricultores decidieron de no abandonar o eliminar sus árboles de café y en lugar destinado a la diversificación vertical teniendo el procesamiento de café y otras actividades de valor añadido (Nava & Camarillo, 2012).

El efecto de la pérdida de suelo sobre la producción de los cultivos de café está relacionado con la disminución de la cantidad de materia orgánica, incremento de los contenidos de arcilla, disminución de la capacidad para almacenar agua y la disponibilidad de nutrientes para la planta (Manson, 2008).

En el Estado de Veracruz los principales cultivos es el café bajo sombra, cuyo sistema productivo se considera “amigable con el ambiente” dado que ayuda a conservar la vegetación y fauna del bosque mesófilo de montaña (Manson, 2008). El sistema tradicional de producción de café bajo sombra ha sido abordado por diversas investigaciones, Moguel y Toledo (2004) que subrayan los elementos sustentables del mismo y los diferentes servicios ambientales que proporciona, tales como: captura de carbono, protección del suelo, recarga de los mantos acuíferos, valor paisajístico, entre otros.

los cafetales bajo sombra de la zona centro de Veracruz imitan la estructura del bosque natural que predomina en la región, siendo las especies más utilizadas para sombra: chalahuite (*Inga spp.*) que tenemos en el sistema II, plátano (*Musa spp.*), naranjo (*Citrus sinensis* L. Osbeck), duela (*Schizolobium parahybum* Vell.), copalillo (*Protium copal* Schlecht & Cham.), ixpepe (*Trema micrantha* L. Blume) y mango (*Mangifera indica*) (Contreras & Osorio, 2015). Existen estudios en la zona montañosa del centro de Veracruz que señalan el gran impacto ambiental asociado al cambio del cultivo de café bajo sombra por monocultivos comerciales, sobre todo huertos frutales y plantaciones de caña de azúcar (Nava & Camarillo, 2012).

Sin embargo, García y Olaya demostraron que el sector cafetalero nacional enfrenta desde 1998 una crisis relacionada con la caída de los precios en el mercado internacional (García & Olaya, 2006).

#### 2.5.1. Deficiencias hídricas en el suelo

Jaramillo, Arcila y Centro (2009) relataron que el consumo de agua de la planta de café está próximo a  $125 \text{ mm.mes}^{-1}$ , cuando se mantiene de manera constante un aporte hídrico inferior a este valor, disminuye la producción. Cuando se analiza la Deficiencia Hídrica Anual (DHA) de muchas regiones cafeteras del mundo, se observa que las regiones con DHA inferiores a 150 mm, son aptas para el cultivo del café.

El rango de lluvia para el cultivo de café es de 1,200 a 1,800 mm, para lograr una buena floración se necesitan un promedio de 20 mm bien distribuidos durante el año. En El Salvador se tienen seis meses de lluvia y seis meses de época seca. La lluvia excesiva inhibe la diferenciación de las yemas florales; también puede ocasionar deficiencias de nitrógeno por dilución del elemento y reducción del crecimiento de la planta. Esta puede dar lugar a floraciones múltiples e irregularidades en la cosecha y la caída del fruto (Oscar, 2010).

#### 2.5.2. Manejo agroecológico de plagas y enfermedades del cultivo de café.

Pero el mal manejo del hombre con la naturaleza realizando prácticas como tala de bosques, uso de agroquímicos, quemas, etc., generando discrepancias entre planta y animal y es precisamente este desequilibrio el responsable de que los insectos se conviertan en plaga para el hombre. (Malavolta, 2006).

### 2.5.3. Manejo de plagas del cultivo de café

Las plagas más importantes del café arábigo son: La broca del fruto (*Hypothenemus hampei*), el minador de la hoja (*Perileucoptera coffeella*) y los nematodos (*Meloidogyne spp*).

#### 2.5.3.1. Broca del Fruto (*Hypothenemus hampei*).

Es un gorgojito de color negro del tamaño de la cabeza de un alfiler, que vive generalmente dentro del grano, en el Ecuador está presente desde 1981.

Este diminuto gorgojo perfora y se alimenta de los frutos en sus estados verde, maduro y almacenado provocando la destrucción de las cosechas y el deterioro de la calidad de la bebida. Ataca con mayor intensidad los cafetales con excesiva sombra y poca aireación interna.

#### Daños que causa

- Las cerezas se caen o se pudren cuando son perforadas en edad muy tierna (lechosa o acuosa).
- Los frutos perforados por la broca pueden ser atacados más fácilmente por enfermedades.
- Cuando la broca ataca frutos maduros y pintones se produce café de poco peso o café vano.
- Se puede perder una cuarta parte de la cosecha o más por haber sido comida ésta por las larvas de la broca.
- En caso de ataque severo, las pérdidas en la cosecha pueden alcanzar entre un 60% y un 80% de la producción.
- Los frutos atacados por la broca son de mala calidad y bajo peso (Manson, 2008).

### 2.5.3.2. Epidemia de roya

Se define una epidemia como la aparición de una enfermedad que se esparce rápidamente y con alta frecuencia entre los individuos de una misma población o área, al mismo tiempo. La epidemia inicia con una infección en la que no se visualizan los síntomas, sino hasta después de ocurrido el proceso de incubación del hongo, presentándose índices de infección de hojas menores del 10 %, que son parte del inóculo residual (primario) que se mantuvo en la planta durante la época seca. El inicio de esta fase coincide con el establecimiento de las lluvias (Oscar, 2015).

#### Modo de control

En variedades susceptibles de *Coffea arabica* L., si no se aplican medidas de control apropiadas, la roya causa severos daños en la estructura del cafeto, provocando fuerte caída de hojas, que afecta su proceso de fotosíntesis, paloteo de plantaciones en producción, debilitándolas y dando lugar al ataque de otras enfermedades como Antracnosis que provoca la muerte de ramas y secado de frutos. Con índices altos de incidencia y severidad, la roya afecta el proceso fisiológico de llenado y maduración de frutos, causando pérdidas económicas considerables (Manson, 2008).

## 2.6. Nutrición de los sistemas agroforestales de café

Para la expresión del potencial de un sistema de producción, además del conocimiento de los factores relacionados con los elementos climáticos, los del suelo y el cultivo específico, se requiere de un programa de manejo de la nutrición, adecuado y eficiente, que garantice el suministro de las cantidades de nutrimentos necesarios para mantener una máxima productividad y rentabilidad del cultivo y que además minimice el impacto ambiental (Malavolta, 2006).

Con relación al cultivo del café, para el manejo adecuado de la nutrición es necesario un amplio conocimiento de la planta en lo que respecta a las características particulares de su crecimiento, desarrollo y productividad. Las características físico-químicas del suelo, deben ser conocidas, ya que el crecimiento y desarrollo de los cultivos y la cantidad y calidad de las cosechas, están en relación directa con los nutrimentos y las características de los suelos. Cuando los nutrimentos no están en cantidades adecuadas, hay necesidad de adicionar fertilizantes químicos o enmiendas para suplir las necesidades y corregir condiciones adversas (Oscar, 2015).

En el caso de Rosas, Escamilla y Ruiz (2008) afirmaron que, el análisis de suelos es una herramienta de diagnóstico que nos permite tener una estimación de la fertilidad del suelo, resultado de un conjunto de ensayos físicos y químicos practicados en la muestra de suelo.

La fertilidad es vital para que un suelo sea productivo, aunque un suelo fértil no necesariamente es productivo, debido a que existen otros factores de tipo físico como el mal drenaje, escasa profundidad, piedra superficial, déficit de humedad etc., que pueden limitar la producción, aun cuando la fertilidad del suelo sea adecuada (Rosas et al., 2008).

El análisis foliar como una herramienta importante para detectar problemas nutricionales en la planta. El tejido vegetal complementario al análisis de suelos, refleja el flujo de nutrientes en el sistema y ayuda a definir las acciones correctivas que tiendan a elevar y mantener la productividad. El diagnóstico foliar debe seguir procedimientos normalizados para que pueda ser utilizado. Debe existir una relación directa entre el suministro de nutrientes y el crecimiento de la producción.

Ferrari y Wall (2015) citaron que Un suelo fertilizado debe permitir un mayor crecimiento, dado que existe un aumento en el suministro de nutrientes, por lo que el contenido en hoja debe aumentar y, en consecuencia, la producción, aunque otros órganos pueden ser utilizados para el análisis, se hace uso preferiblemente, de las hojas, ya que se consideran el centro de la actividad fisiológica de la planta, haciéndolas más adecuados para el diagnóstico de deficiencia o exceso de nutrientes en el suelo.

Los problemas que pueden aparecer de falta de productividad en alguna parte de la parcela pueden ser debidos a otras causas diferentes que el nivel de nutrientes. Problemas tales como exceso de sales o de caliza activa son bastante corrientes en algunas zonas de nuestro país (Malavolta, 2006).

#### 2.6.1. Componentes arbóreos fijadores de nitrógeno atmosférico

La deficiencia de nitrógeno en el suelo puede superarse mediante la fijación biológica de nitrógeno (FBN) que ocurre en nódulos radiculares de algunos géneros de plantas angiospermas que establecen simbiosis con ciertos microorganismos del suelo (Ferrari et al., 2015).

Stocking y Murnaghan (2000) relataron que el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente define degradación del suelo como una declinación transitoria o permanente de su capacidad productiva, es decir, de su potencial económico como recurso natural.

La degradación física, la química y la biológica son las principales formas de degradación del suelo; las causas pueden ser naturales o debidas a la intervención del hombre.

Algunos suelos son naturalmente susceptibles a sufrir degradación y por ello resultan menos aptos para la producción agropecuaria; son ejemplos de ello los suelos salinos, los fuertemente ácidos, los arenosos, los superficiales, los lateríticos, los compactados, los hidromórficos, las arcillas expansibles y las laderas de pendiente pronunciada, entre otros (Stocking et al., 2000).

### 2.6.2. Fertilizantes para el cafeto

Para aplicar nitrógeno, fósforo y potasio a los suelos, se usan fuentes simples de nitrógeno, potasio y fórmulas NPK. A veces se usa la fórmula de 21-7-14, tiene 21% de nitrógeno, 7 % de fósforo ( $P_2O_5$ ) y 14 % de potasio ( $K_2O$ ). En suelos bajos de potasio (K), debe ponerse mayor atención al uso de fórmulas con este elemento. En suelos ácidos hay que tomar en cuenta las fuentes de nitrógeno, que esta sea lo menos acidificante, como el Nitrato de Magnesio, Nitrato de Calcio (Rivera et al., 2003). La primera fertilización se lleva acabo a los dos meses después del trasplante y la segunda dos meses antes de la producción, la dosis de aplicación es de 100 a 150 g por planta, utilizando una formulación de 18% de Nitrógeno, 12% de fosforo y 6% de potasio (ANACAFE, 2006). En cafetales donde los suelos contienen niveles adecuados de nutrimentos (determinados por el laboratorio de suelos) y han tenido buenas producciones, se recomienda hacer una fertilización en junio a los surcos o lotes completos que se van a recepar el próximo año (Malavolta, 2006).

### 2.6.3. Movilidad de los elementos

Rivera, Sinisterra, y Calle (2007) comentaron que, la movilidad de los elementos en el suelo es fundamental para su disponibilidad y absorción, la misma está en función de la textura y la estructura del suelo. Los contenidos de arcilla, arena y limo, así como la materia orgánica y el pH.

Entran también en juego la fijación e interacción de los elementos e inciden en los procesos de movilidad, adsorción, interacción y absorción. Cuando son asperjados al follaje estos son absorbidos por las hojas conducidos a lo interno del cafeto a través del floema (ANACAFE, 2010).

- Deficiente: Cuando la concentración de un elemento esencial es tan baja que limita en forma severa la producción y causa síntomas de deficiencia más o menos característicos. En caso extremo de su deficiencia, la planta muere. Si hay una deficiencia ligera, aunque no se presenten síntomas visibles, la producción se reducirá.

- Rango crítico: Concentración del nutrimento por debajo de la cual ocurre una respuesta en producción al aplicar el nutrimento. Los niveles o rangos críticos varían según la planta y el nutrimento, pero se ubica en algún punto entre los niveles de deficiencia y suficiencia.
- Suficiente: Cuando el nivel del elemento esencial en la planta es adecuado para una producción óptima y no se obtiene respuesta en producción al aplicarlo, aunque se aumente su nivel en la planta.
- Excesivo o Tóxico: Cuando la concentración de un elemento esencial o de otro es lo suficientemente alta para reducir severamente el crecimiento y la producción. Una toxicidad severa dará como resultado la muerte de la planta. Cuando el nivel de un elemento esencial es excesivo puede causar desbalance en otros elementos y reducir la producción (Malavolta, 2006).

#### 2.6.4. Funciones de los nutrientes en el cafeto

El conocimiento de la función de cada uno de los nutrientes en la nutrición del café nos permite reconocer la importancia de mantener, ya sea en el suelo y/o a través de tejido foliar, niveles adecuados de estos, para contribuir a la obtención de buenas cosechas de alta calidad (ANACAFE, 2006).

#### 2.6.5. Síntomas de deficiencia de algunos elementos en el cafeto

**Nitrógeno:** En las hojas nuevas y adultas se ve la pérdida uniforme del color verde, que pasa a verde claro, a verde amarillento o a amarillo (Rivera et al., 2003). El nitrógeno se moviliza muy bien en la planta (Sadeghian, 2012)

**Fósforo:** Manchas rojizas o pardo rojizas en las hojas adultas y viejas. El fósforo se moviliza bien en la planta (Sadeghian, 2012)

**Potasio:** Color bronceado y muerte del tejido en los bordes de las hojas adultas y viejas, con límites bien marcados (Rivera, 2003). Es muy móvil en la planta (Sadeghian, 2012).

Calcio: Pérdida del color verde, en forma de una palidez muy leve, en los bordes de las hojas nuevas. El calcio es poco móvil en la planta (Sadeghian, 2012)

Magnesio: Manchas y moteado pardo-amarillento, en los espacios entre las venas de hojas adultas y viejas. El magnesio se moviliza bien en la planta (Sadeghian, 2012).

Azufre: Pérdida del color verde normal en las hojas de la punta de la rama hacia atrás. Esta deficiencia no es común en Guatemala. El azufre se moviliza bastante bien en la planta

Zinc: Las hojas nuevas y jóvenes se muestran pequeñas y angostas, con pérdida de color, y resalta el verde de las venas (Rivera et al., 2007). Las hojas se agrupan en forma de rosetas por acortamiento de los nudos de la rama achaparramiento del cafeto y producción de frutos pequeños.

Boro: Muerte de las yemas terminales de las ramas. Aparece gran número de brotes que le dan a la punta de la rama una apariencia de “palmilla”. Deformación de las hojas nuevas. El boro se moviliza muy poco en la planta (Campos, 2005).

Hierro: Decoloración de las hojas nuevas y jóvenes, a verde claro y verde amarillento, resaltando el color verde de las venas. Las hojas mantienen su tamaño normal. El hierro es poco móvil en la planta (ANACAFE, 2006).

Manganeso: Las hojas nuevas y jóvenes pierden su color, resaltando el color verde de las venas, a veces como franjas verdes difusas a lo largo de estas (ANACAFE, 2006). Las hojas tienden a ser más grandes. El manganeso se moviliza poco en la planta (Rivera et al., 2007)

Cobre: Las hojas presentan nervaduras salientes (costillas), clorosis leve y manchas pardas asimétricas (Rivera et al., 2007). Las hojas más jóvenes aparecen distorsionadas, con una forma de S, por falta de crecimiento de los nervios y pierden su color verde (ANACAFE, 2006).

Molibdeno: De acuerdo con Carvajal, inicialmente se desarrollan manchas amarillas cerca de los márgenes y se tornan amarillo-pardas y necróticas primeramente en el centro. Desde la parte central sucede un rizamiento de las hojas, de manera que los lados opuestos se tocan por debajo (Rivera et al., 2007)

Cloro: La literatura no reporta sintomatología por deficiencia de cloro, lo que hace suponer que las cantidades existentes en la mayoría de los suelos agrícolas son suficientes (ANACAFÉ, 2010).

#### 2.6.6. Agua y nutrimento.

En algunos casos se han reportado efectos negativos entre los componentes de una asociación que la competencia puede regularse mediante la proporción de las especies asociadas, la selección del tiempo relativo de crecimiento y la selección de especies con alta competitividad por la luz. Por lo tanto, en plantaciones de café ubicadas en regiones que poseen ese tipo de microclimas, el riego puede ser poco satisfactorio en ausencia de arborización (Campos, 2005).

Además, una apropiada densidad de árboles por unidad de área, sembrados con el objeto de mejorar las condiciones microclimáticas, puede favorecer el intercambio gaseoso foliar y atenuar los efectos adversos de la demanda evaporativa de la atmósfera, ofreciendo como resultado un incremento en la eficiencia en el uso del agua de la plantación (DaMatta & Ramalho, 2006). El rendimiento del café con especies de madera finas ha sido 520, 780 and 1300 kg/ha en los años 3,4 y 5, respectivamente. (Cordero et al., 2003).

#### 2.6.7. El diagnostico visual

Según Arizaleta, Rodríguez y Rodríguez (2006), el diagnostico visual requiere de un enfoque sistemático. Aunque existen 13 nutrimentos que expresan síntomas de deficiencia, el diagnóstico de estos puede ser simplificado evaluando el tipo de síntoma (clorosis, enanismo etc.) y localización del síntoma (hojas viejas, hojas jóvenes).

Algunos de los tipos de síntoma son:

- Clorosis o amarillamiento uniforme o en los bordes - El síntoma más común se debe a una falta en el desarrollo de la clorofila. Las hojas cloróticas varían su color desde un verde claro a un color amarillo.
- Clorosis intervenal - Las venas de la hoja se mantienen verde mientras el tejido entre-medio de las hojas se torna amarillo.
- Necrosis - Ocurre muerte o secamiento del tejido asociada con deshidratación y descoloración de los órganos de la planta. Daños asociados con sequía, herbicidas, enfermedades y exceso de sales también pueden causar necrosis.
- Enanismo (achaparramiento) - Una reducción en la tasa de crecimiento está asociado a casi todos los síntomas nutricionales. La forma del enanismo puede variar con la deficiencia.
- Coloración anormal - Algunas deficiencias nutricionales están caracterizadas por coloraciones rojas, púrpuras, marrones o verde-oscuro. Coloración rojizo-púrpura se debe a la acumulación de antocianina en el tejido (Arizaleta et al., 2006).

## 2.7. Literaturas citadas

- Aguirre-Medina, J. F., Aguirre-Cadena, J. F., Cadena-Iñiguez, J., & Avendaño-Arrazate, C. H. (2012). Biofertilización en plantas de la selva húmeda tropical. *Montecillo, Edo. de México. Colegio de Postgraduados*
- ANACAFE. (2006). Hacia un sector cafetero sostenible. Conferencia Mundial del Café de la Organización Internacional del Café –OIC.
- ANACAFE. (2010). Hacia un sector cafetero sostenible. Conferencia Mundial del Café de la Organización Internacional del Café –OIC.
- Arizaleta Castillo, M., Rodríguez, V., & Rodríguez, O. (2006). Normas e índices DRIS para la evaluación nutricional del cafeto. *Acta Científica Venezolana*, 57(2), 59-65.
- Campos-Almengor, O. G. (2005). Manejo integrado de la broca del café en una finca de producción comercial en Guatemala. In *Proceedings, Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México. <http://jinsectscience.oxfordjournals.Org> (pp. 38-45).*
- Castillo Ponce, G., LANCHERO, O., BASTIDAS, S., PEÑA, E., LOPEZ-AVILA, A. R., MORA, L., & BERMUDEZ, I. O. (2013). *La roya anaranjada del cafeto (Hemileia vastatrix, Berk. y Br.) su comportamiento en México: propuestas para enfrentar un nuevo brote epidemiológico* (No. Bajados de internet/café). HONDURAS. SIMPAH.
- Contreras Hernández, A., & Osorio Rosales, M. L. (2015). Biodiversidad y cultura cafetalera en México
- Cordero, J., Boshier, D. H., Barrance, A., Boshier, D. H., Chamberlain, J., Cordero, J. & Gordon, J. (2003). *Bombacopsis quinata (Jacq.) Dugand. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas* (No. Thesis A951m). Oxford Forestry Institute, Oxford (RU). CATIE, Turrialba (Costa Rica).

- DaMatta, F. M., & Ramalho, J. D. C. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55-81
- DaMatta, F., & Rodríguez, N. (2007). Sustainable production of coffee in agroforestry systems in the Neotropics: an agronomic and ecophysiological approach. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 113-123.
- Ferrari, A. E., & Wall, L. G. (2015). Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 105(2), 63-87.
- Fúnez, N. O. C. B., García, G., & Díaz, A. (2010). *Guía de buenas prácticas agrícolas para fincas de café protegidas bajo una indicación geográfica o denominación de origen* (No. AC/338.17373 C3/3).
- García Cáceres, R. G., & Olaya Escobar, É. S. (2006). Caracterización de las cadenas de valor y abastecimiento del sector Agroindustrial del Café. *Cuadernos de Administración*, 19(31), 197-217.
- Hernández-Solabac, J. A. M., Nava-Tablada, M. E., Díaz-Cárdenas, S., Pérez-Portilla, E., & Escamilla-Prado, E. (2011). Migración internacional y manejo tecnológico del café en dos comunidades del centro de Veracruz. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(3), 807-818.
- Hernández, A. C. (2015). Los cafetales de Veracruz y su contribución a la sustentabilidad.
- Jaramillo-Robledo, A., Arcila-Pulgarín, J., & Centro, A. (2009). Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de la niña y su efecto en la caficultura. *Cenicafé*, 389, 1-8.
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas* (p. 638). Agronômica Ceres.
- Manson, R. H. (2008). Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto Nacional de Ecología.

- Mestries, F. (2006). Entre la migración internacional y la diversificación de cultivos. Los pequeños productores de café en dos localidades de Veracruz. *Sociológica*, 21(60), 75-108.
- Moguel, P., & Toledo, V. M. (2004). Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. 55, 2-7.
- Nava-Tablada, M. E., & Camarillo, E. M. (2012). International migration and change in land use in Bella Esperanza, Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(S2).
- Nuberg, I., George, B., & Reid, R. (Eds.). (2009). *Agroforestry for natural resource management*. Csiro Publishing.
- Ordaz-Chaparro, V., Valdés-Velarde, E., Hernández-San Román, M. E., & Pérez-Nieto, J. (2005). Lluvia, escurrimiento superficial y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. *Agrociencia*, 39(4), 409-418.
- Oscar Guillermo Campos Almengo. (2015). «Manejo integrado de la roya anaranjada». *Centro de Investigaciones en Café Guatemala*.
- Pérez, L. E., & Suárez, L. A. (2011). Evaluación del efecto sombra en la producción de café—*Coffea arabica* L.-dentro de un sistema agroforestal tradicional con árboles en Las Minas, El Paraíso, Honduras.
- Rivera, J. H., Sinisterra, J., & Calle, Z. (2007). Restauración ecológica de suelos degradados por erosión en cárcavas en el enclave xerofítico de Dagua, Valle del Cauca, Colombia. *Calí, Colombia, CIPAV*.
- Romero-Alvarado, Y., Soto-Pinto, L., García-Barrios, L., & Barrera-Gaytán, J. F. (2002). Coffee yields and soil nutrients under the shades of Inga sp. vs. multiple species in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 54(3), 215-224.
- Rosas Arellano, J., Escamilla Prado, E., & Ruiz Rosado, O. (2008). Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra latinoamericana*, 26(4), 375-384
- Sadeghian Khalajabadi, S. (2012). *Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana*

- sobre la nutrición de café (Coffea arabica L.) en la etapa de almácigo* (Doctoral dissertation, Universidad).
- Sanz, C. G. C., Mejía, C. V., García, E. C., Torres, J. S. A., & Calderón, E. Y. T. (2012). *El mercado mundial del café y su impacto en Colombia* (No. 009612). BANCO DE LA REPÚBLICA
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J. & Anta, S. (2009). Capital natural de México. *Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.*
- SEMARNAT (*Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*). 2012. Norma Oficial Mexicana NOM-021- RECNAT-2012. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.
- Somarriba, E., Beer, J., Alegre-Orihuela, J., Andrade, H. J., Cerda, R., DeClerck, F. & Krishnamurthy, L. (2012). Mainstreaming agroforestry in Latin America. In *Agroforestry-The Future of Global Land Use* (pp. 429-453). Springer Netherlands.
- Soto, F., Vantour, A., Hernández, A., Planas, A., Figueroa, A., Fuentes, P. O., & Alfonzo, H. M. (2001). La zonificación agroecológica del Coffea arabica L. en Cuba. Macizo montañoso sagua-nipe-baracoa. *Cultivos Tropicales*, 22(3), 27-52.
- Stocking, M., & Murnaghan, N. (2000). Land Degradation-Guidelines for field assessment.
- Velázquez morales, D. E. (2015). ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL CAFÉ (Coffea arábica L.) EN MÉXICO.

**3. ARTÍCULO**  
**DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DE TRES SISTEMAS**  
**AGROFORESTALES DE *Coffea arabica* L. CULTIVADO BAJO**  
**SOMBRA VERACRUZ, MEXICO**

**NUTRITIONAL DIAGNOSIS OF THREE AGROFORESTRY**  
**SYSTEMS OF *Coffea arabica* L. FOR SHADE GROWN**  
**VERACRUZ, MEXICO**

**3.1. Resumen**

El objetivo principal de este estudio fue, diagnosticar el estado nutrimental de tres sistemas agroforestales (*Grevillea robusta*+ *Coffea arabica* L.), (*Erythrina poeppigiana* + *Coffea arabica* L.), (*Bursera simaruba* + *Acrocarpus fraxinifolius* + *Inga spp* + *Coffea arabica* L.) para proponer una nutrición óptima de la plantación de tres sistemas agroforestales de café cultivado bajo sombra. Se diseñaron los tratamientos de fertilización a través de las interpretaciones de los análisis iniciales de suelo y de tejido vegetales. Las variables estudiadas fueron la concentración nutrimental y la respuesta del cultivo en términos de altura, número de tallos de los cafetos y diámetro. La fertilización óptima no tuvo influencia en la respuesta del cultivo, sin embargo, el índice de balance Kenworthy final, mostró que se corrigieron las deficiencias nutrimentales iniciales de Ca, Mg y Fe, pero se incrementaron a nivel de exceso el K, Fe y S. Las correlaciones entre las concentraciones nutrimentales foliares y las variables de respuesta del cultivo mostraron que las prácticas de manejo que realizan no varían entre sistemas agroforestales.

**Palabras Claves:** Diagnostico nutrimental, sistemas agroforestales, Café bajo sombra, índice del balance de Kenworthy.

---

Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible,  
Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Eder Audate

Director: Dr. Ranferi Maldonado torres

### 3.2. Abstract

The main objective of this study was to diagnose the nutritional status of three shade-grown coffee agroforestry systems (*Grevillea robusta* + *Coffea arabica* L.), (*Erythrina poeppigiana* + *Coffea arabica* L.), (*Bursera simaruba* + *Acrocarpus fraxinifolius* + *Inga spp* + *Coffea arabica* L.) to propose an optimal nutrition management plan for these plantations. The fertilization treatments were designed through the interpretations of the initial soil and plant tissue analyzes. The variables studied were nutrient concentration and crop response in terms of height, number of stems of coffee trees and diameter. The optimum fertilization had no influence on the crop response; however, the final Kenworthy balance index showed that the initial nutritional deficiencies of Ca, Mg and Fe were corrected, but increased K, Fe and S. The correlations between foliar nutrient concentrations and crop response variables showed that the management practices they performed did not vary between agroforestry systems.

**Key words:** diagnose the nutritional - agroforestry systems - shade-grown coffee- index of Kenworthy balance.

### 3.3. Introducción

El cultivo de café es uno de los principales productos agrícolas en México, debido a que es una actividad altamente generadora de empleos y autoempleos, por concepto de limpia, poda, control de plagas, corte del café y en algunos casos fertilización del cultivo. México ocupa el séptimo lugar en producción de café, después de Brasil, Vietnam, Colombia, Indonesia, India y Etiopía, con una participación en los últimos años de poco más de 4 millones de sacos (García, 2014). La mayoría de productores cafetaleros hacen un inadecuado manejo de las plantaciones de café lo que deteriora el ambiente, provocando el desequilibrio de los agroecosistemas. Especialmente el uso irracional de los productos químicos pone en riesgo la salud de productores y consumidores de café, y de organismos que en muchos casos son depredadores de plagas y enfermedades, elevando costos de producción y reduciendo la rentabilidad del cultivo (Castillo et al., 2013). Actualmente se tienen suelos nutrimentalmente pobres, lo que demanda más uso de insumos, menor fertilidad, menor rentabilidad y menor calidad de vida para los agricultores. El efecto de la pérdida de suelo sobre la producción de los cultivos de café está relacionado con la disminución de la cantidad de materia orgánica, incremento de los contenidos de arcilla, disminución de la capacidad para almacenar agua y la disponibilidad de nutrientes para la planta. La precipitación pluvial en la Patrona Huatusco, Veracruz está a un rango de 2, 400 a 3, 100 mm causa erosión en la capa superficial del suelo y lixivia cantidades considerables de nutrimentos hacia los horizontes inferiores de la capa terrestre, reduciendo su fertilidad. Por otra parte, los cambios en el pH del suelo pueden hacer insolubles a algunos nutrimentos, mientras que a otros puede liberarlos en cantidades tóxicas. Debido a que el cafeto es una planta extremadamente susceptible a problemas de nutrición, la complejidad del suelo es causa de severos inconvenientes para su cultivo (Campos, 2005).

El efecto de la pérdida de suelo sobre la producción de los cultivos de café está relacionado con la disminución de la cantidad de materia orgánica, incremento de los contenidos de arcilla, disminución de la capacidad para almacenar agua y la disponibilidad de nutrientes para la planta (Ordaz et al., 2005). La producción de Veracruz disminuyó 21.1% con respecto a la cosecha 2013/14, al ubicarse en 278,975 toneladas, es decir, su nivel mínimo desde 1979 y 80 López, Martínez y Villar Lago (2015).

En la presente investigación se realizó una caracterización de tres sistemas agroforestales de café cultivado bajo sombra, se diagnosticó el estado nutrimental de las plantaciones en cada sistema y, se generó una propuesta de manejo integral según la caracterización de los sistemas en la Patrona, Huatusco, Veracruz, México.

### 3.4. Materiales y métodos

#### 3.4.1. Descripción del área de estudio.

La investigación se realizó en la localidad de la patrona en Huatusco del Estado de Veracruz, México, a una altura de 1,160 msnm y su clima es cálido-Húmedo con una temperatura promedio de 19.1° C (INEGI, 2011). Su precipitación pluvial media anual es de 1,825.5 milímetros. Se encuentra ubicado en la zona centro del Estado, en las coordenadas 19° 09´ de latitud norte y 96° 58´ de longitud Oeste (SEMARNAT, 2012).



Figura 1. Ubicación de los tres sistemas agroforestales (Google Earth, 2015).

El suelo es de tipo cambisol y luvisol el primero se caracteriza por presentar en el subsuelo aspecto de roca y susceptibilidad a la erosión, el segundo presenta acumulación de arcilla en el subsuelo y alta susceptibilidad a la erosión (Manson, 2008).

En el área de estudio se distinguen elevaciones como el cerro de Acatepec (cerro de las cañas o carrizos), cerro de Guadalupe (Norte de la Ciudad), cerro de Ixpila, cerro de Elotepec (cerro de los Elotes), cerro Colorado (Suroeste del Municipio), cerro de Los Tecolotes (Norte del Municipio), cerro de Ocelotepec (cerro del Tigre y la cascada de Tenexamaxa y caídas de agua) (Farfán, 2010).

### 3.4.2. Síntesis de la metodología del experimento

Se seleccionaron tres sistemas agroforestales donde el cultivo principal fue café, se realizó el muestreo de suelo y de follaje del cultivo en cuestión, se determinaron variables químicas para conocer la fertilidad del suelo y el estado nutricional de cada huerto. A través del diagnóstico se elaboró el programa de manejo de los nutrientes, para satisfacer los requerimientos

El experimento se estableció en tres sistemas agroforestales, los tres sistemas están plantados a 2.10 metros entre hileras y 1.10 metros entre plantas, los sistemas I y sistemas III son plantados desde 10 años y el sistema II tiene dos (2) años de establecimiento después de las prácticas de injerto en vivero.

La investigación se dividió en dos fases, la primera fase se consistió en la identificación de los sistemas agroforestales, la colecta de las muestras iniciales de suelos y tejidos, el análisis e interpretación, los cálculos nutricionales y diseño de una fórmula nutricional que se aplicó en los tres sistemas.

En la segunda fase, las muestras foliares finales que fueron interpretadas mediante el índice del balance de Kenworthy, que permite determinar el nivel nutricional de los sistemas agroforestales y establecer orden de requerimiento nutricional.

### 3.4.3. Método de muestreo de suelo

La metodología se basó en la toma de 20 muestras de suelos en cada uno de los tres sistemas agroforestales, un total de 60 muestras, en zigzag (Figura 3), a una profundidad de 30 cm en la zona de goteo de los cafetales (SEMARNAT, 2012), con los cuales se sacaron 3 muestras compuestas y llevarlas al laboratorio de la Universidad Autónoma Chapingo en donde se hicieron los procedimientos del cuadro 1 y 2. Materiales utilizados en el muestreo de suelos: Barrena. - Azadón. - Machete. - Bolsas plásticas. - Croquis de la finca. - Lápiz.



Figura 2. Tomando muestras de suelo.



Figura 3. Procedimientos de preparación de las muestras de suelo.

Cuadro 1. Metodología para análisis físico de muestras de suelos.

Propiedad	Método	Referencia bibliográfica
Textura	Método del hidrómetro de Bouyoucos	Gandoy, 1982.
Densidad real	Método del Picnómetro	Gandoy, 1982.
Densidad aparente	Método de la probeta	Gandoy, 1982.
Porosidad	Porosidad Total	Luis, 2007
Constantes de humedad	Curva de la retención de humedad	Gandoy, 1982.
Conductividad hidráulica	Método del permeámetro	Núñez, 2006.
Agregados estables	Método de un solo tamiz	USDA, 1999

(Álvarez & Marín, 2012).

Cuadro 2. Métodos de análisis químico de las muestras de suelos.

Propiedades	Métodos
Materia orgánica (MO)	Método Walkley y Black
Nitrógeno inorgánico (Ni)	Nitrógeno inorgánico extractable en KCl <sub>2</sub> N
P-olsen (P)	P extractable. Método Olsen
Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Potasio (K) y Sodio (Na)	Extracción con CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> 1N pH 7 y Cuantificación por absorción atómica y fotometría de llama
Zinc (Zn), cobre (Cu), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn)	Micros en DTPA
Azufre (S)	Extracción de azufre disponible con .05 M NH <sub>4</sub> O ácido. acético y determinación por turbidimetría
Boro (B)	Extracción de Boro en CaCl <sub>2</sub> 1.0 M
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Método para suelos no calcáreos y pH próximo a la neutralidad

(Álvarez & Marín, 2012).

#### 3.4.4. Muestreo foliar de los cafetos

El muestreo foliar se efectuó en el mismo árbol donde se colectaron las muestras de suelo (Figura 4), eligiendo bandolas productivas de la parte media del árbol y se seleccionaron el tercer par de hojas (de afuera hacia adentro de la bandola); tomando como primer par aquellas que presentan un tamaño mayor de 5 cm de longitud. Recolectaron 8 hojas sanas por cafeto (dos hojas por cada bandola ubicadas en sentido opuesto del árbol). Muestreando 20 cafetos, para un total de 160 hojas por cada sistema no hubieran aplicado productos foliares 30 días previo al muestreo. Las muestras se lavaron en un tren de agua corriente-HCL (8%)-destilada-desionizada y se secaron en la estufa a 70 °C por 72 horas (Figura 6).

Se asignó un número a cada muestra y en una tabla de números aleatorios se determinaron las unidades experimentales para el análisis de datos.



Figura 4. Colecta de muestras de tejidos de los cafetos y procedimientos de laboratorio.



Figura 5. Molienda de muestras de tejidos vegetales del muestreo inicial de los tres sistemas agroforestales.



Figura 6. Digestando las muestras de tejidos vegetales de café.

### 3.4.5. Diagnóstico visual de los tres sistemas agroforestales

El diagnóstico visual se realizó mediante un enfoque sistemático. Aunque los nutrimentos que expresan síntomas de deficiencia, el diagnóstico de éstos puede ser simplificado evaluando el tipo de síntoma (clorosis, enanismo etc.) y localización del síntoma (hojas viejas, hojas jóvenes) (Ponce, 2009).



Figura 7. Diagnóstico visual de los sistemas agroforestales.

**A = cero (0) dosis**  **B = Tradicionales**  **C= Nutritional**

		Repeticiones				
Tratamientos	A1	A-(M1)	B1	B-(M4)	C1	C-(M7)
	A2		B2		C2	
	A3		B3		C3	
	A4		B4		C4	
	B1	B-(M2)	C1	C-(M5)	A1	A-(M8)
	B2		C2		A2	
	B3		C3		A3	
	B4		C4		A4	
	C1	C-(M3)	A1	A-(M6)	B1	B-(M9)
	C2		A2		B2	
	C3		A3		B3	
	C4		A4		B4	

Figura 8. Croquis de campo e identificación de los tratamientos



Figura 9. Identificación de los tratamientos.



Figura 10. Técnicas de identificación de los tratamientos

### 3.4.6. Descripción de los tratamientos

Tratamientos (1): los cafetos que no recibieron ningún fertilizante y se consideraron como testigo del experimento.

Tratamientos (2): la fertilización tradicional que utilizan los agricultores de la zona, la mayoría no tienen una indicación. Se aplicó Acadian a 0.75 litros por ha (Figura 12), como foliar y urea a 100 gramos/planta.

Tratamientos (3): Son la propuesta nutrimental, que se generó a través de la interpretación de los resultados laboratorios de suelo y de foliar de los tres sistemas agroforestales. Se estableció una fórmula de fertilización con base en nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) y Superfosfato triple  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , Nutre-Más y Nutre-Pezkelp, se han procedido a los cálculos nutrimental de café: Ha= 10,000  $\text{m}^2$ , Dap= 1.2  $\text{tm}^3$ , Prof.= 0.20 m y requerimiento nutrimental de las producciones de café (Bertsch, 2005).



Figura 11. Uno de los fertilizantes comúnmente aplicado.

### 3.4.7. Dosis de aplicación

La dosis de solución nutritiva fue de 0.5 kg/planta en suelo de nitrato de amonio con 34 % de N y superfosfato triple con 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 15 % de Ca en una sola aplicación y en aspersión foliar fraccionada en 3 ocasiones con intervalo de 7 días de Nutre - Más ½ kg ha<sup>-1</sup> con Nutre-Pezkelp 1lt ha<sup>-1</sup>.

### 3.4.8. Modo de aplicación

Se aplicó al suelo en la zona de goteo (Figura 18), en un círculo alrededor del tallo, limpiando las hojarascas se aplica el fertilizante luego cubre el fertilizante con las hojarascas (Figura 15). En el caso de los fertilizantes foliares, se aplica con una bomba de 17 litros, en la parte aérea, distribuyendo de maneja uniforme el fertilizante en las hojas (Figura 16).

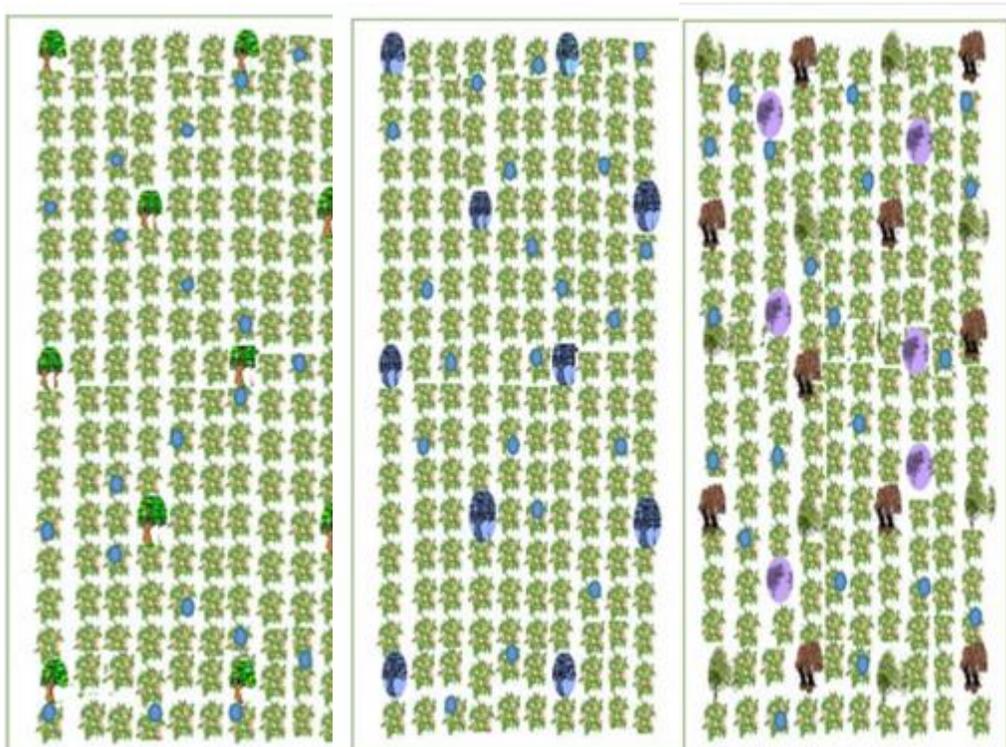


Figura 12. Muestreo de Campo al azar en el sistema I, 🌳 = Árbol de Poro, ☕ = Café y ● = punto de muestreo, en el sistema II, 🌳 = Árbol de Grevillea y en el sistema III con 🌳 = Palo mulato, 🌳 = Cedro Rojo, 🌳 = Inga.



Figura 13. Representación de los fertilizantes del tratamiento nutricional



Figura 14. Fertilizantes tradicionales y modo de aplicación en suelo.



Figura 16. Aplicación foliar de los fertilizantes



Figura 15. Preparando la mezcla de los fertilizantes para aplicar en el suelo.



Figura 17. Aplicación de los fertilizantes al suelo en los cafetos.



Figura 18. Medición de alturas de los componentes arbóreos y manejo de las parcelas.



Figura 19. Colecta final de tejidos vegetales.

### 3.4.9. Análisis de tejidos y diagnóstico nutricional final de los tres sistemas agroforestales.

De igual manera que se han procedido a tomar las muestras de tejido iniciales de los tres sistemas agroforestales, eligiendo bandolas productivas de la parte media del árbol y se seleccionaron el tercer par de hojas (de afuera hacia adentro de la bandola); tomando como primer par aquellas que presentan un tamaño mayor de 5 cm de longitud. Recolectaron 8 hojas sanas por cafeto (dos hojas por cada bandola ubicadas en sentido opuesto del árbol (Figura 20).



Figura 20. Análisis finales de laboratorio de tejido vegetal.



Figura 21. Molienda de muestras de tejido vegetal de café.

Del mismo modo que se estableció el diseño de los tres tratamientos con tres repeticiones del experimento, se hicieron las interpretaciones y los cálculos nutrimentales para cada sistema.

#### 3.4.10. Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones en cada uno de los sistemas agroforestales. Cada unidad experimental estuvo conformada por 4 árboles de cafeto. Los datos se analizaron con el software estadístico (SAS 9.3) con análisis de varianza (ANOVA) y media múltiple de Tukey.

Diseño del experimento:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3 \dots t$$

$$j = 1, 2, 3 \dots n$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento i.

$E_{ij}$  = Error aleatorio, donde

Análisis de la Varianza para el modelo

Ho:  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots = \tau_t$

Ha: al menos un efecto de un tratamiento es diferente de los demás

Se realizó una correlación entre las concentraciones nutrimentales y las variables (altura y diámetro de los tallos de los cafetos) en los tres sistemas agroforestales.

### 3.4.11. Índice del balance de Kenworthy

El valor estándar y el coeficiente de variación se calcularon a partir de datos de contenido nutrimental de hojas de café encontrados en la literatura para diferentes poblaciones con rendimiento óptimo de biomasa.

Si M es < que S:

1.  $(M/S)*100 = p$
2.  $(100-P)*(CV/100) = I$
3.  $P+ I = B$

Si M es > que S:

1.  $(M/S)*100 = p$
2.  $(P-100)*(CV/100) = I$
3.  $P- I = B$

Donde:

CV = coeficiente de variación

I = Influencias de variación;

P= % respecto al estándar

M = Valor de la muestra

S = Valor estándar

B = índice de balance.

La interpretación de los análisis foliares se realizó con la técnica Kenworthy (1973). Con la clasificación incluyendo los índices “Muy Bajo” y “Muy Alto”, tomando como deficientes a los rangos “Muy Bajo” y “Bajo. Con los resultados del análisis foliar, valor estándar y el coeficiente de variación se estimaron los Índice del Balance y el Orden Requerimiento nutrimental para el diagnóstico nutrimental final de los tres sistemas agroforestales en Huatusco, Veracruz.

#### 3.4.12. Variables evaluadas

Las variables estudiadas fueron la concentración nutrimental de suelo y foliar de sistemas agroforestales y las variables de manejo (Altura y tallos de los cafetos, Altura y diámetro de los árboles de sombra).

#### 3.4.13. Caracterización de los sistemas agroforestales

¿Por qué es necesario caracterizar los sistemas de producción de café?

Desde mediados del siglo XVIII, cuando el café fue introducido a México, las formas para producir el aromático se han adecuando a las condiciones ambientales de las diferentes regiones, a los avances tecnológicos, a las políticas gubernamentales, a las fluctuaciones del mercado internacional y a la gran diferenciación cultural de los productores (Manson, 2008)

Al respecto, fue necesario que se identificaran y describieran las semejanzas entre la amplia gama de sistemas productivos, y los componentes de cada sistema con la finalidad de reconocer las estrategias de producción y así, tener bases para comprender las propiedades emergentes del cultivo del café, tales como: la productividad, calidad y rentabilidad de la producción, los patrones de biodiversidad que albergan, así como su contribución a la producción de servicios ambientales regionales.



Figura 22. Sistema agroforestal I



Figura 25. Sistema agroforestal II



Figura 24. Sistema agroforestal III



Figura 23. Determinación de las prácticas de manejo

### 3.5. Resultados y Discusiones

#### 3.5.1. Diagnóstico nutrimental del suelo y foliar inicial de los tres sistemas agroforestales.

Según las normas oficiales mexicanas NOM-021. (2000), los suelos de los tres sistemas agroforestales de café en el experimento se clasificaron como medianamente ácidos con un pH bajo de 4.2, 4.73 y 5.92 respetivamente, con alta concentración de materia orgánica de 6.85, 7.99 y 8.95 % en los tres sistemas.

Cuadro 3. Concentración e interpretación de los análisis de suelo.

Atributos	Sist. I	Clas.	Sist. II	Clas.	Sist. III	Clas.
PH	4.42	Bajo	4.73	Bajo	5.92	Bajo
CE (us)	278	No salino	209	No salino	177.9	No salino
M.O. (%)	6.85	Alto	7.99	Alto	8.95	Alto
N inorg. (mg kg <sup>-1</sup> )	20.3	Medio	13.3	Bajo	6.3	Deficiente
Ca (me/100 g)	4.22	Deficiente	4.87	Deficiente	10.97	Medio
K (me/100 g)	1.65	Alto	2.11	Alto	1.98	Alto
Mg (me/100 g)	1.59	Medio	2.59	Medio	3.59	Medio
S (mg kg <sup>-1</sup> )	61.25	Alto	38.51	Alto	12.38	Alto
P olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	13.51	Medio	27.8	Muy alto	10.04	Medio
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	192.53	Muy alto	129.45	Muy alto	15.68	Muy alto
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	3.43	Alto	2.47	Alto	2.59	Alto
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	3.01	Alto	3.96	Alto	5.2	Alto
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	66.15	Alto	69.04	Alto	103.28	Alto
B (mg kg <sup>-1</sup> )	5.6	Muy alto	Muy alto	Muy alto	7.12	Muy alto

Sist. = Sistemas, I, II y III, Clas. = Clasificación

Los resultados del análisis de fertilidad de suelos de los tres sistemas mostraron que el sistema I tiene una conductividad eléctrica de 278 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), luego el sistema II con una conductividad eléctrica de 209 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) mientras que en el sistema III de 178 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ).

En el Cuadro 4 se muestran las concentraciones e interpretación de los análisis de suelo. En las interpretaciones nutrimentales de los tres sistemas, resultó que el N tuvo los valores medio en el primer sistema con el componente de *Erythrina poeppigiana*, medio con *Grevillea* y deficiente con el sistema más diversificado. Concentraciones Altas, muy alta y excesiva de K, Mn Fe, S y B, respectivamente, probablemente por ser un suelo medianamente ácido (Castillo et al., 2009).

Las altas concentraciones de Fe que destacaron en los tres sistemas agroforestales pueden ser debidas al pH ácido de los suelos como en son los casos de los tres sistemas agroforestales (Avelino & Rivas, 2013).

Por otra parte, el B fue alto en los tres sistemas de 5.6, 5.02 y 7.12 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente, según Maldonado, Álvarez y Almaguer (2007), el exceso de boro puede ser originado por altas aplicaciones de fertilizantes que lo contienen como nitroboro.

Avelino y Rivas (2013), indicaron que la incidencia y la severidad de la roya anaranjada han sido relacionadas con características del suelo, con pH entre 4.7 y 6.5 y con contenidos en materia orgánica inferiores a 3% los cuales son favorables al desarrollo de esta enfermedad.

Estos bajos valores indican que existe una pérdida de nutrientes (SEMARNAT, 2012).

Cuadro 4. Concentración e Interpretación inicial del estado nutrimental del tejido de vegetal.

Sist.	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	%						mg kg <sup>-1</sup>				
I	2.94	0.2	2.63	0.71	0.18	0.3	43	57.6	8.3	9.48	167.9
	Medio	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Alto
II	3.54	0.2	1.78	0.76	0.19	0.3	27	80.7	8.5	10.2	139.3
	Medio	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Medio	Bajo	Medio	Alto
III	2.87	0.2	2.3	0.57	0.21	0.4	44	161.9	11.5	15.3	196.4
	Medio	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto

Sist. = Los sistemas agroforestales I, II y III.

En el Cuadro 5 se muestra la concentración e interpretación inicial del estado nutrimental del tejido vegetal. Las concentraciones de K, el Fe, Zn, Mn y B fueron altas en los tres sistemas mientras que, para el caso de N, resultó medio en los tres sistemas, pero para Ca y Mg resultaron en nivel bajo en los tres sistemas, esto es coincidente con los niveles bajos de los mismos nutrientes en el suelo reportados en el Cuadro 4.

Por su parte, se encontró el Fe a un nivel alto en el suelo, mientras que en el follaje el nivel fue bajo en los tres sistemas, resultado similar al encontrado por Lagos (2014).

El nivel de insuficiencia de N en el suelo y foliar explicó que el café responde más positivamente a las aplicaciones de nitrógeno y potasio que a las aplicaciones de fósforo. Sin embargo, el fósforo (sobre todo en etapas tempranas de crecimiento), así como los elementos menores son indispensables para lograr el máximo beneficio nutricional en la planta. Estos últimos elementos deben ser parte del programa de fertilización (DaMatta et al., 2005).

### 3.5.2. Diagnóstico nutrimental foliar inicial y final de los tres sistemas agroforestales.

En el Cuadro 6 se muestra el diagnóstico nutrimental foliar inicial y final de los tres sistemas agroforestales. Independientemente de los tres sistemas agroforestales, el diagnóstico nutrimental foliar inicial y final mostró que el N resultó normal al inicio y deficiente al final; el P por su parte, se encontró arriba de lo normal para el diagnóstico inicial en los tres sistemas y al final, fue normal en el segundo sistema y arriba de lo normal para los sistemas I y III.

La concentración de K, en el diagnóstico inicial fue normal en los sistemas I y III y abajo de lo normal en el segundo sistema mientras que el diagnóstico final para el primer sistema, resultó arriba de lo normal y exceso para los otros dos sistemas.

Cuadro 5. Diagnóstico nutrimental inicial y final por el índice del balance de Kenworthy de los tres sistemas agroforestales.

Diagnostico nutrimental inicial												
Sistema I												
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	
	%			mg kg <sup>-1</sup>								
CN	2.94	0.2	2.63	0.71	0.18	0.3	43	57.6	9.48	10.4	168	
IB	90.12	129.98	104.34	51.26	58.64	166.67	62.35	60.23	62.07	89.93	136	
C	N	AN	N	BN	BN	EX	BN	BN	BN	N	AN	
ORN	Ca>Mg>Mn>Zn>Fe>Cu>N>K>P>B>S											
Sistema II												
CN	3.54	0.2	1.78	0.71	0.19	0.3	27	80.7	10.2	8.5	139	
IB	106.58	129.98	75.94	51.26	61.077	166.67	51.78	70.18	64.67	77.98	120.87	
C	N	AN	BN	BN	BN	EX	BN	BN	BN	BN	AN	
ORN	Ca>Fe>Mg>Zn>Mn>K>Cu>N>B>P>S											
Sistema III												
CN	2.87	0.2	2.3	0.57	0.21	0.4	44	1829	15.9	11.5	194	
IB	88.2	129.98	93.32	44.36	65.94	222.22	63.01	113.73	85.22	96.85	150.07	
C	N	AN	N	D	BN	EX	BN	N	N	N	EX	
ORN	Ca>Fe>Mg>Zn>N>K>Cu>Mn>P>B>S											
Diagnostico nutrimental final												
Sistema I												
CB	0.72	0.19	3.9	1.24	0.32	0.48	151.94	211.66	10.98	6.43	122.27	
IB	29.21	123.99	146.79	77.35	92.7	266.67	134.31	126.53	67.48	64.95	111.82	
C	D	AN	AN	BN	N	EX	AN	AN	BN	BN	AN	
ORN	N>Cu>Zn<Ca>Mg>B>Mn>P>Fe>k>S											
Sistema II												
CN	0.66	0.16	4.53	1.26	0.3	0.34	270.61	194.89	12.631	7.4	108.33	
IB	27.51	106	167.9	78.44	88.11	191.97	212.69	119.32	73.43	71.04	104.42	
C	D	N	EX	BN	N	EX	EX	AN	BN	BN	N	
ORN	N>Cu>Zn>Ca>Mg>B>P>Mn>K>S>Fe											
Sistema III												
C	0.84	0.19	4.76	1.27	0.35	0.32	216.82	252.22	14.65	11.64	111.78	
IB	32.6	121.8	175.56	78.74	99.11	182.83	177.16	144	80.7	97.72	106.25	
C	D	AN	EX	BN	N	EX	EX	AN	N	N	N	
ORN	N>Ca>Zn>Cu>Mg>B>P>Mn>k>Fe>S											

CN=Composición nutrimental; IB.=Índice de balance de Kenworthy; C=Condición: D= deficiente, BN= bajo de lo normal, N=Normal, AN=arriba de lo normal, Ex=exceso; ORN=Orden de requerimiento nutrimental.

Para el Ca, Mg, Fe, Mn y Zn se encontró con nivel abajo de lo normal en los dos primeros sistemas y para Ca resultó deficiente, el Mg y Fe abajo de lo normal, luego Mn y Zn resultaron normales para el diagnóstico inicial, mientras que, para el diagnóstico final, el Ca resultó abajo de lo normal, Mg fue normal y Mn fue arriba de lo normal en los tres sistemas agroforestales.

El Fe fue arriba de lo normal en el primer sistema y en los otros dos resultado exceso, el Zn fue bajo de los dos primeros sistemas y normal al final. En el caso de S, resultó en exceso en todos los sistemas desde el diagnóstico inicial hasta el final.

El Cu se encontró normal al inicio en el primer y tercer sistema, pero abajo de lo normal en el segundo sistema mientras que, para el diagnóstico final, resultó bajo de lo normal de los sistemas I y II, pero normal en el sistema III. Por último, el B resultó arriba de lo normal en los dos primeros sistemas, pero exceso para el tercer sistema al inicio mientras que para el final fue arriba de lo normal en los dos primeros sistemas, pero normal en el sistema III.

La declinación del nivel de N en el diagnóstico final, se relaciona con la toma de muestra de tejido vegetal final después de la primera cosecha, eso ayudó a comprobar que es muy importante la distribución de las épocas de fertilización durante el año para los cafetos.

### 3.5.3. Efecto de la interacción de tratamientos en los tres sistemas agroforestales.

En el Cuadro 7 se muestran las interacciones entre los factores en los sistemas agroforestales. En este cuadro comparativo de los niveles de significancias de los tratamientos en los tres sistemas agroforestales se encontró que entre el testigo y el tratamiento nutrimental no existieron diferencias significativas para el N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y B, pero para el S y Cu si se encontraron diferencias significativas de  $0.01 \leq 0.05$  y  $0.02 \leq 0.05$ , respectivamente.

Cuadro 6. Cuadro comparativo de los niveles significancias de los tratamientos en los tres sistemas agroforestales

Fuente de variación	BV <sup>z</sup>	AV	BA	CV (%)
N %	NS	0.05	NS	24
P %	NS	NS	NS	20
K%	NS	NS	NS	44
Ca %	NS	NS	NS	22
Mg %	NS	NS	NS	35
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	NS	NS	NS	81
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	NS	NS	NS	44
S (mg kg <sup>-1</sup> )	0.01	NS	0.05	27
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	NS	0.04	NS	32
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0.02	NS	NS	62
B (mg kg <sup>-1</sup> )	NS	NS	NS	29

<sup>z</sup>Son los tratamientos, B es el testigo, A es la tradicional y V es el nutrimental.

<sup>y</sup>La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05 con la prueba de Tukey  
NS = No significativo.

Para el tratamiento tradicional y nutrimental, el N y Zn resultaron significativos de 0.05 a 0.04 respectivamente, mientras que, para el P, K, Ca, Mg, Fe, S, Mn, Cu y B no se encontraron diferencias significativas. Se encontró diferencia significativa para el Azufre de  $0.05 \leq 0.05$ , pero no se encontraron diferencias significativas para los otros elementos en los tratamientos de testigos y tradicionales (Cuadro7).

Cuadro 7. Nivel significancia del efecto de los tratamientos.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	Fe
	%					mg kg <sup>-1</sup>
Testigo	0.72b <sup>z</sup>	0.19a	3.9a	1.24a	0.32a	151.94a
Tradicional	0.67b	0.16a	4.53a	1.26a	0.3a	270.61a
Nutritional	0.84a	0.19a	4.76a	1.27a	0.35a	216.82a

	Mn	S	Zn	Cu	B
	mg kg <sup>-1</sup>				
Testigo	211.66a <sup>z</sup>	0.48a	10.97b	6.43a	122.27a
Tradicional	194.89a	0.34ab	12.63ab	7.4ab	108.33a
Nutritional	252.22a	0.33b	14.65a	11.64b	111.78a

<sup>z</sup> Las medias seguidas con la misma letra en cada columna no son diferentes al nivel de P ≤ 0.05 con la prueba de Tukey.

En el Cuadro 9 se presenta la interpretación final de los tres tratamientos en los tres sistemas agroforestales.

Cuadro 9. Interpretación final de los tres tratamientos en los tres sistemas agroforestales.

Fuente de variación	Testigo	Tradicional	Nutritional
N %	D	D	D
P %	AN	AN	AN
K%	AN	AN	AN
Ca %	N	N	N
Mg %	BN	BN	N
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	N	AN	EX
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	EX	N	AN
S (mg kg <sup>-1</sup> )	EX	EX	EX
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	N	N	N
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	BN	BN	N
B (mg kg <sup>-1</sup> )	EX	EX	EX

D= Deficiente, AN= Arriba de lo normal, N= Normal, BN= Bajo de lo normal, EX= Exceso.

El N en el diagnóstico foliar final resultó deficiente, esto puede afectar negativamente el desarrollo del cultivo durante los siete o nueve meses después de la floración, que tarda la variedad arábica en llegar a la cosecha. En las

parcelas se producen dos cosechas anuales, la cosecha se realiza de marzo a abril y de noviembre a diciembre.

En el caso se K resultó normal y bajo de lo normal antes de las aplicaciones y después resultó arriba de lo normal y exceso, el Mg también tuvo un nivel bajo de lo normal después de las aplicaciones resultó normal. Para el Fe y Mn fue muy bajo y resultó arriba de lo normal y exceso mientras el Cu y Zn no han tenido modificaciones. El B se regularizó en normal respecto a su nivel que fue de arriba de lo normal después de las aplicaciones.

De manera general el diagnóstico inicial y final de los tratamientos aplicados, indicó que los niveles nutrimentales más altos fueron los testigos y tradicionales, lo que indicó que los productores hacen un uso irracional de los fertilizantes, por eso fue que destacaron los niveles óptimos y altos en N, P y K, mientras se determinaron niveles deficientes de Ca. Por su parte los micro elementos fueron deficientes en el diagnóstico inicial.

La aplicación de fertilizantes desempeña una función importante en el incremento de los rendimientos de las plantaciones (Barrantes, 2015). Es importante considerar que una planta bien nutrida tendrá un buen desarrollo, mayor área foliar y ramas vivas, después de un ataque de roya (Wadt & Días, 2012).

#### 3.5.4. Correlación entre variables de manejo y concentración de nutrimental en los tres sistemas

El N, K, Ca, Fe, S, Zn, Cu y B relacionaron positivamente contra los variables de altura de los cafetales mientras el P, Mg y Mn se resultaron negativas. Para el variable de tallos K, Fe, S, Cu y B, presentaron una correlación positiva, mientras el N, Ca, Mg, Mn y Zn mostraron negativas.

El Ca, Mn y B presentaron correlaciones negativas con el nitrógeno mientras que K, P, Fe, S, Zn, Cu resultaron positivas.

El P, Mg, Zn, Cu y B mostraron una correlación positiva con los demás elementos. En el caso de K, resultó negativo con Ca, Mn y S mientras se mostró

una correlación positiva con los demás elementos. En el caso de S mostró una correlación negativa con Zn y Cu, pero tiene una correlación positiva con los demás elementos.

Los tres sistemas agroforestales de café, son plantaciones ya establecidas, los sistemas I y III tienen más de diez (10) años de edad mientras que el sistema II tiene tres (3) años establecidos. Las correlaciones entre los variables de nutrimentos y las evaluadas en el cultivo, mostraron que no varían mucho entre los tres sistemas.

Cuadro 8. Nivel significancia del efecto de los sistemas agroforestales.

Sistemas	N	P	K	Ca	Mg	Fe
	%					mg kg <sup>-1</sup>
I	0.79a <sup>z</sup>	0.17ab	3.72a	1.31a	0.3ab	205.58a
II	0.69a	0.16b	5.07a	0.94b	0.22b	163.28a
III	0.73a	0.19a	3.45a	1.43a	0.41ab	155.71a

<sup>z</sup>Las medias seguidas con la misma letra en cada columna no son diferentes al nivel de  $P \leq 0.05$  con la prueba de Tukey.

	Mn	S	Zn	Cu	B
	mg kg <sup>-1</sup>				
I	164.08a <sup>z</sup>	0.37a	11.7a	8.23a	113.9a
II	179.93a	0.33a	12.35a	7.9a	88.48b
III	243.75a	0.4a	12.58a	6.1a	127.43a

<sup>z</sup>Las Medias seguidas con la misma letra en cada columna no son diferentes al nivel de  $P \leq 0.05$  con la prueba de Tukey.

Cuadro 9. Medias de las variables nutrientes en los tres sistemas

Nutrientes	Sistema I	Sistemas II	Sistema III	CV (%)
N %	0.79	0.69	0.73	22
P %	0.17	0.16	0.19	19
K%	3.72	5.07	3.45	32
Ca %	1.31	0.94	1.43	16
Mg %	0.3	0.22	0.41	24
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	205.58	163.28	155.71	7
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	164.08	179.93	243.75	41
S (mg kg <sup>-1</sup> )	0.37	0.33	0.4	26
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	11.7	12.58	12.58	29
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	8.23	7.9	6.1	68
B (mg kg <sup>-1</sup> )	113.9	88.43	127.43	27

CV = Coeficiente de variación

### 3.5.5. Efectos de los tratamientos sobre los tres sistemas agroforestales

En el Cuadro 11 se muestran las medias de las concentraciones nutrimentales en los tres sistemas agroforestales y sus coeficientes de variación.

Para los tratamientos del experimento, no se encontraron diferencias significativas para N, K, Fe, Mn, S, Zn y Cu entre los tres sistemas mientras el P si mostró significancia. El P mostró diferencia significativa para los tres sistemas y Ca mostró diferencia significativa entre el sistema I y II, también para el II y III. Para el Mg y B resultaron significativos entre el I y II luego II y III mientras entre I y III no mostraron diferencias significativas.

### 3.5.6. Descripción del manejo de cultivo de café en los sistemas agroforestales

El intercambio de informaciones de los objetivos del experimento para afinar la caracterización de los sistemas de producción, es una buena técnica que conlleva a conocer las parcelas de producción (Paz & Sadeghian, 2006).

### 3.5.7. El sistema agroforestal I

En la Figura 24 mostró la caracterización de los tres sistemas agroforestales. El primer sistema está compuesto de Café (*Coffea arabica* L.) y poro (*Erythrina poeppigiana*) con una altura promedio de 16 metros y un diámetro promedio de 1.20 cm, tiene flores anaranjadas y los frutos son legumbres o frijoles largos y delgados.

Se encuentran distribuido en 300 árboles por hectáreas a lo largo de la plantación cafetal, el uso principal del género *Erythrina* es como árbol de sombra y aporte nutricional al sistema. Las hojas caídas al suelo se incorporen en las hileras de café. Esta técnica permite nutrir orgánicamente a los árboles y favorece un mayor tiempo de humedad en el suelo capaz de restablecer un hábitat favorable al microorganismo benéficos.

### 3.5.8. El sistema agroforestal II

En caso del sistema II (Figura 8) también con café (*Coffea arábica* L.) Como expliquemos al principio, en este sistema es una plantación nueva de dos años de edad, sembrada de 2.10 m por 1.10 m, tienen una altura promedio de 1 metro 22, también se encontraron distribuidas en hileras, acompañado con *Grevillea robusta* plantado a una distancia de 6 metros entre árbol, tiene un diámetro promedio de 54 cm y un promedio de altura de 7.50 metros.

### 3.5.9. El sistema agroforestal III.

Este sistema es más diversificado con Café (*Coffea arábica* L.) (Figura 9) plantado más de 10 años con *Inga Spp* Alcanza una altura promedio de 13 m y un diámetro promedio de 75 cm, tallo recto, cilíndrico, con corteza marrón claro, compuesta de ramas con ápice agudo y base obtusa.

De acuerdo con Farfán y Baute (2010), que evaluaron el efecto del sombrío de *Erythrina fusca*, *E. rubrinervia*, *Inga edulis*, encontraron que la sombra influyó significativamente sobre la producción de café. Lo que nos conviene hacer la caracterización de los tres sistemas agroforestales.

En el caso del sistema I, La altura de los árboles de *Erythrina poeppigiana* es de  $13.6 \pm 1.15$  m, es decir que está en un rango de 12.45 a 14.75 y con un diámetro d  $107.98 \pm 9.51$  cm, es decir que se ubican en el rango de 98.47 a 117.49 cm.

Por el segundo sistema con *Grevillea robusta* la altura de los árboles fue  $7.10 \pm 0.97$  metros, que no dice que se encuentra en el rango de 6.13 a 8.09 metros mientras para el diámetro  $44.91 \pm 6.24$  centímetros, es decir que está en un rango de 38.67 a 51.15 centímetros, nos indicó que es una plantación joven.

En el sistema III que es más diversificado, encontramos *Bursera simaruba*, *Inga spp*, *Acrocarpus fraxinifolius*, las alturas de los árboles son de  $11.16 \pm 1.30$ ,  $9.42 \pm 1.63$  y  $10.20 \pm 1.26$  respectivamente mientras que para los diámetros son de  $115.41 \pm 7.66$ ,  $54.80 \pm 13.41$ ,  $46.80 \pm 9.61$  cm respectivamente, es decir, que está en un rango de alturas de 9.86 a 12.46, 7.79 a 11.05, 8.94 a 11.46 m, respectivamente y de 107.75 a 123.07, 41.39 a 68.21 cm; recordando que el tercer sistema tiene más de diez (10) años desde su establecimiento, al igual que el sistema I, datos ubicados en el (anexo 8).

La caracterización de los cafetos en los tres sistemas respecto al Cuadro 13, 14 y 15, mostró que, el sistema I con el componente de poro tiene el nivel de nitrógeno más alto.

En el sistema agroforestal III, se han encontrado para la *Bursera simaruba* una media de los datos de altura de 11.12 m y un diámetro de 114.8 cm, para *Inga spp*. Se han observado una de altura 8.79 m y un diámetro de 54.4 cm y *Acrocarpus fraxinifolius* con una altura 10.3 y de 43.33 cm de diámetro.

Se realizan dos a tres chapeos al año para evitar la competencia entre la planta y la maleza, además de aprovechar la maleza como medio de protección para el deslave y fuente de nutriente para el cultivo.

Esto hace suponer que la biodiversidad, la intensidad del manejo y el tipo de productor que lo integran, varían de manera paralela, lo cual no ha sido probado

y sólo permite una aproximación a las relaciones generales, pero no absolutas, las cuales no son suficientes para comprender las propiedades del agroecosistema, como tampoco los patrones de biodiversidad y su relación con las prácticas de manejo (García & Olaya, 2006).

De acuerdo con Rivera, Sinisterra y Calle (2007), la caracterización ha demostrado el efecto de los árboles en el bienestar de los sistemas. Se han realizado diferentes aplicaciones en las parcelas y no hay mucho potencial para mejorar los sistemas tradicionales en este aspecto como lo han mencionado Rivera *et al.* (2007). De conocer las técnicas de manejo de los productores, ayuda a re orientar el manejo en los sistemas, como menciona Tejada-Cruz *et al.*, (2004), el crecimiento vertical es originado por una zona de crecimiento activo o plúmula en el ápice de la planta que va alargando a ésta durante toda su vida, formando el tallo central, nudos y entrenudos.

Los datos del Cuadro 7 hasta 12 indicaron que desde el vivero, los productores atendieron una buena técnica en el manejo de tallo y altura de los cafetos, inclusive a los árboles de sombra en cada sistema agroforestal. Esto se hace desde temprana edad para darle forma de sombrilla a éstos levantando sus copas, raleando el follaje e induciéndolos a la formación de ramas secundarias y terciarias.

Esta técnica permitió espacios libres para la ventilación e iluminación del cafetal. Cuando la distancia es mayor de 20 pies, se pierde en gran medida el efecto que la sombra tiene en amortiguar el impacto de la lluvia sobre el suelo. Se aconseja mantener una sombra variada en edad. Los árboles deben ser jóvenes, de mediana edad y adultos. Los árboles viejos, enfermos y sin vigor deben eliminarse año por año y sustituirse gradualmente.

### 3.5.10. Aspecto asociativo de los árboles fijadores de nitrógeno atmosférico.

La utilización de AFN para recuperar suelos degradados no está desprovista de limitaciones y potenciales en peligro. Tanto la estructura como la ubicación geográfica de las fincas de café de sombra en México hacen que este tipo de agroecosistema sea importante en la conservación de la biodiversidad mexicana. Varios estudios argumentan que la estructura vegetal compleja de estos y otros sistemas agroforestales puede ser muy parecida a la de los bosques nativos y por ello pueden albergar muchas especies (Manson, 2008).

En caso del sistema III en el área delimitada del experimento en los números de tallos y alturas de los cafetales se han observado una uniformidad en el mantenimiento de las prácticas desde vivero hasta en la plantación porque la mayoría de los cafetos tienen una altura y un número de tallo recomendado para sus más de 10 años plantados.

La importancia de la caída de las hojas y renovación de raíces en el ciclo de los nutrientes consiste en que el retorno de la materia orgánica constituye el principal proceso de transferencia de nutrientes al suelo y puede llegar a ser de más de 90% del nitrógeno absorbido por las plantas (Chapin *et al.*, 2006).

La materia orgánica y la biología del suelo desempeñan un papel importante en la calidad del suelo. Cardona & Sadeghian (2005) opinaron que la materia orgánica es un buen indicador de la disponibilidad de N en el suelo.

## 4. CONCLUSIÓN

El diagnóstico nutrimental inicial indicó que en el sistema I, Ca, Mg, Mn, Zn y Fe estuvieron abajo de lo normal; para el segundo sistema K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu y Fe en tanto que para el sistema III, Ca fue deficiente, pero Mg y Fe resultaron abajo de lo normal.

En el caso del diagnóstico nutrimental final, para el primer sistema, Cu, Zn y Ca resultaron abajo de lo normal. Para el segundo sistema, Cu y Zn se encontraron bajo de lo normal. En el tercer sistema Ca resultó bajo de lo normal. En los tres sistemas el N resultó deficiente.

Considerando los tres sistemas agroforestales con el cultivo de café, el primer sistema con el componente de *Erythrina poeppigiana* resultó con mayor nivel de N, a pesar de que el índice del balance de Kenworthy indicó una orden de requerimiento nutrimental que debe empezar con la fuente de nitrógeno en los tres sistemas, de Cu y Zn en los sistemas I y II luego de Ca en los sistemas I y III.

Con base en las variables de manejo nutrimental, el N, K, Ca, Fe, S, Zn, Cu y B se relacionaron positivamente con la respuesta en altura de los cafetales mientras el P, Mg y Mn se resultaron negativas. Para la variable de tallos, el K, Fe, S, Cu y B, presentaron una correlación positiva, mientras el N, Ca, Mg, Mn y Zn mostraron negativas. El Ca, Mn y B presentaron correlaciones negativas con el nitrógeno mientras que K, P, Fe, S, Zn, Cu resultaron positivas. Las correlaciones entre los variables de nutrientes y de respuesta de los árboles mostraron que las prácticas de manejos que se realizaron entre los tres sistemas no varían sustancialmente.

Independientemente de los tratamientos de fertilización, el mejor sistema fue el I con el componente poró (*Erythrina poeppigiana*).

La aplicación de la fórmula de fertilización que se estableció a base de Nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) y Superfosfato triple  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , Nutre-Más y Nutre-Pezkelp, corrigió el exceso de boro y lo convirtió en normal, también a los niveles de Ca, Fe y Magnesio que fueron en los niveles bajos pasan a normales, arriba de lo normal hasta exceso en el caso de Fe.

Independientemente de los tres sistemas, el tratamiento nutrimental mejora la producción café en los tres sistemas agroforestales.

## 5. ITERATURAS CITADAS

- Aguirre-Medina, J. F., Aguirre-Cadena, J. F., Cadena-Iñiguez, J., & Avendaño-Arrazate, C. H. (2012). Biofertilización en plantas de la selva húmeda tropical. *Montecillo, Edo. de México. Colegio de Postgraduados.*
- Álvarez-Sánchez M. E., Marín-Campos A. (2012). Manual de Procedimientos Analíticos de Suelo y Planta. *Laboratorio de suelos, Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. México.*
- AMECAFE (Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café). 2012. Plan Integral de Promoción del Café de México. In: <http://amecafe.org.mx/backup/pcm2012.pdf>.
- AMECAFE (Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café). 2013. Plan Integral de Promoción del Café de México. In: <http://amecafe.org.mx/backup/pcm2012.pdf>.
- ANACAFE. (2011). Hacia un sector cafetero sostenible. Los elementos y su movilidad en el suelo y en la planta. Síntomas de deficiencia de algunos elementos en el caféto.
- Arizaleta Castillo, M., Rodríguez, V., & Rodríguez, O. (2006). Normas e índices DRIS para la evaluación nutricional del caféto. *Acta Científica Venezolana*, 57(2), 59-65.
- Avelino, J., & Rivas, G. (2013). La roya anaranjada del caféto. <https://www.sciencesconf.org>.
- Barradas, V. L., Cervantes-Pérez, J., Ramos-Palacios, R., Puchet-Anyul, C., Vázquez-Rodríguez, P., & Granados-Ramírez, R. (2010). Meso-scale climate change in the central mountain region of Veracruz State, Mexico.
- Barrantes Valverde, L. A. (2015). Caracterización de los sistemas agroforestales cafetaleros de los productores asociados a Coopesarapiquí RL en la zona norte de Costa Rica.

- Beer, J., Ibrahim, I., Somarriba, E., Barrance, A., & Leakey, R. (2003). Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. *Cordero, J. Boshier, DH. (Eds.). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford, Reino Unido, OFI/CATIE, 197-242.*
- Beer, J., Harvey, C. A., Ibrahim, I., Harmand, J., Somarriba, E., & Jiménez, F. (2003). Funciones de servicio de los sistemas de agroforestería. XII congreso Forestal Mundial, Quebec, Canadá. 9 p. Consultado en línea.
- Benítez García, E. (2014). Transmisión de los precios internacionales del café y su relación con los precios que reciben los productores de la Sierra Norte de Puebla
- Bertsch, F. (2005). Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones Agronómicas, 57, 1-10.*
- Borbón, M., Castro, O. F., & C Rojas Castro, H. (2001). Broca del cafeto; una nueva plaga para nuestra caficultura. *Boletín Informativo. Regional Pérez Zeledón-Instituto del Café de Costa Rica (Costa Rica) v. 1 (1) p. 4-5.*
- Cardona, D. A., & Sadeghian, S. (2005). Ciclo de nutrimentos y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrío de *Inga* spp.
- Castillo Ponce, G., LANCHERO, O., BASTIDAS, S., PEÑA, E., LOPEZ-AVILA, A. R., MORA, L., & BERMUDEZ, I. O. (2013). *La roya anaranjada del cafeto (Hemileia vastatrix, Berk. y Br.) su comportamiento en México: propuestas para enfrentar un nuevo brote epidemiológico* (No. Bajados de internet/café). HONDURAS. SIMPAH
- CATIE. Oxford Forestry Institute & Forestry Research Program. 2003. Árboles de Centro América. *CATIE, Turrialba, Costa Rica.*
- Chapin III, F. S., Woodwell, G. M., Randerson, J. T., Rastetter, E. B., Lovett, G. M., Baldocchi, D. D., ... & Wirth, C. (2006). Reconciling carbon-cycle concepts, terminology, and methods. *Ecosystems, 9(7), 1041-1050.*
- Chavarría Bolaños, Noelia; Tapia Fernández, Ana Cecilia; Soto, Gabriela; Filho, Elías de M. Virginio. (2012). Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi.

- Contreras Hernández, A., & Osorio Rosales, M. L. (2015). Biodiversidad y cultura cafetalera en México.
- Cornejo, A., & Vinicio, M. (2012). Alternativas Agroecológicas para el manejo del café (coffea arabica).
- DaMatta, F. M., & Rodríguez-López, N. F. (2005). Fotosíntesis, distribución y asignación de asimilados en plantas leñosas perennes. *Revista Comalfi*, 32(1), 35-42.
- DaMatta, F. M., & Ramalho, J. D. C. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55-81.
- Del Rosario Pineda-López, M., & Sánchez-Velásquez, L. R. (2005). Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques*, 11(2), 3-14.
- Descroix, F., & Snoeck, J. (2008). Environmental factors suitable for coffee cultivation. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers*, 164-177.
- Eakin, H., Tucker, C., & Castellanos, E. (2006). Responding to the coffee crisis: a pilot study of farmers' adaptations in Mexico, Guatemala and Honduras. *The Geographical Journal*, 172(2), 156-171.
- Farfán, F. (2010). Cambios en la fertilidad del suelo con plantaciones de café y sombrío de especies forestales.
- Farfán, F., & BAUTE, J. (2010). Efecto del sombrío con especies leguminosas a diferentes densidades de siembra sobre la producción de café.
- Figuroa-Hernández, e., Pérez-soto, f., & Godínez Montoya, L. (2016). El mercado de café en México. *Handbook TI*, 33.
- Fonseca, S. A. (2006). El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta ecológica*, (80), 19-31.

- Fúnez, N. O. C. B., García, G., & Díaz, A. (2010). *Guía de buenas prácticas agrícolas para fincas de café protegidas bajo una indicación geográfica o denominación de origen* (No. AC/338.17373 C3/3).
- García Cáceres, R. G., & Olaya Escobar, É. S. (2006). Caracterización de las cadenas de valor y abastecimiento del sector Agroindustrial del Café. *Cuadernos de Administración*, 19(31), 197-217.
- García, C. A., Bhagwat, S. A., Ghazoul, J., Nath, C. D., Nanaya, K. M., Kushalappa, C. G. & Vaast, P. (2010). Biodiversity conservation in agricultural landscapes: challenges and opportunities of coffee agroforests in the Western Ghats, India. *Conservation Biology*, 24(2), 479-488.
- Geissman, T. A., Mólgora, I., Mokondoko, A., & Maas, P. (2013). *Manual para el manejo sustentable del suelo en cafetales de sombra* (No. F/631.45 M3).
- Gómez, C. C. (2004). Análisis de los factores que determinan la adopción de la agricultura orgánica en la producción de café en Huatusco, Veracruz.
- González, B. C., Gálvez, R. J., & Tobias, H. M. R. (2016). Viabilidad económica y ambiental de policultivos de hule, café y cacao. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(1), 49-61.
- Guhl, A. (2006). Cambios ambientales en perspectiva histórica. *Ecología Histórica y Cultura Ambiental*.
- Hernández, A. C. (2015). Los cafetales de Veracruz y su contribución a la sustentabilidad.
- Hernández-Martínez, G., Manson, R. H., & Hernández, A. C. (2009). Quantitative classification of coffee agroecosystems spanning a range of production intensities in central Veracruz, Mexico. *Agriculture, ecosystems & environment*, 134(1), 89-98
- Hernández-Solabac, J. A. M., Nava-Tablada, M. E., Díaz-Cárdenas, S., Pérez-Portilla, E., & Escamilla-Prado, E. (2011). Migración internacional y manejo tecnológico del café en dos comunidades del centro de Veracruz. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(3), 807-818.

- Hernández-Trejo, H., Priego-Santander, A., López-Portillo, J., & Isunza-Vera, E. (2006). Los paisajes físico-geográficos de los manglares de la laguna de La Mancha, Veracruz, México. *Interciencia*, 31(003), 211-219.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2011, 2012, 2013. IRIS. 4.0, <http://www.inegi.org.mx>.
- Jaramillo-Robledo, A., Arcila-Pulgarín, J., & Centro, A. (2009). Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de la niña y su efecto en la caficultura. *Cenicafé*, 389, 1-8.
- Kenworthy, A. L. (1973). Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards. *Soil testing and plant analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, WI*, 381-392.
- Lagos Molina, S. M. (2014). Artículo I. Efecto de la condición química del suelo y de la fertilización sobre la incidencia, severidad y resistencia fisiológica de plantas de café a la roya (*Hemileia vastatrix*). *Efecto de la condición química del suelo y de la fertilización sobre la incidencia, severidad y resistencia fisiológica de plantas de café a la roya (Hemileia vastatrix). Turrialba (Costa Rica)*.
- Leal-VARÓN, L.a.; Salamanca-JIMÉNEZ, A.; Sadeghian-khalajabadi, S. (2009). Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cafetales en etapa productiva. *Informaciones Agronómicas*, v.74, p.1-4,
- Leiva Granados, E. R. (2011). Efectos del marco político y legislativo en el aprovechamiento de la madera de sistemas agroforestales del Municipio de El Cuá, Nicaragua.
- Licona Vargas, A. L. (2007). El papel de la clasificación local de tierras en la generación y transferencia de tecnología: El caso del policultivo café-plátano para velillo-sombra en Veracruz, México.
- López Aguilar, F. M., Martínez Morales, Y., & Villar Lago, G. H. (2015). Caracterización del sistema agroforestal de café orgánico de los productores asociados a Unión Ejidos de la Selva. In *V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA (7 al 9 de octubre de 2015, La Plata)*.

- Luis. H. J. 2007. Métodos Para el Análisis Físico de suelos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. San José de Las Lajas. La Habana, Cuba. *Balmaseda, C. Boletín-e de la SCCS*.
- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., Almaguer-Vargas, G., Barrientos-Priego, A. F., & García-Mateos, R. (2007). Estándares nutrimentales para aguacatero "hass". *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(1), 103-108.
- Manson, R. H. (2008). Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto Nacional de Ecología.
- Mestries, F. (2006). Entre la migración internacional y la diversificación de cultivos. Los pequeños productores de café en dos localidades de Veracruz. *Sociológica*, 21(60), 75-108.
- Mancilla Díaz, G. E. (2013). Aplicación del sombrío del cafeto (*Coffea arabica*) en Colombia. *Conexión Agropecuaria JDC*, 2(1), 37-48.
- Masuhara, A. (2012). A. *Evaluación del contenido de carbono en sistemas agroforestales de café en Huatusco, Veracruz, México*
- Meza-Pérez, E., & Geissert-Kientz, D. (2006). Estabilidad de estructura en andisoles de uso forestal y cultivado. *Terra Latinoamericana*, 24(2), 163-170.
- Miguel Altieri. Víctor M. Toledo. 2011. La revolución Agroecología en la América latina.
- Moguel, P., & Toledo, V. M. (2004). Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. 55, 2-7.
- Muñoz-Villers LE, López-Blanco J. 2007. Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing*
- Nava-Tablada, M. E., & Camarillo, E. M. (2012). International migration and change in land use in Bella Esperanza, Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(S2).
- Noscue, E. A. (2014). Adopción de los sistemas agroforestales con el cultivo del café (*Coffea arábica*).

- Nuberg, I., George, B., & Reid, R. (Eds.). (2009). *Agroforestry for natural resource management*. Csiro Publishing.
- Núñez, S. J. (2006). *Manual de Laboratorio de Edafología*. Universidad Estatal a Distancia. San José Costa Rica.
- Ordaz-Chaparro, V., Valdés-Velarde, E., Hernández-San Román, M. E., & Pérez-Nieto, J. (2005). Lluvia, escurrimiento superficial y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. *Agrociencia*, 39(4), 409-418.
- Osorio Moreno, V. E. (2004). Decomposition and nitrogen release of foliar, litter and root material from seven shade tree species in coffee agroforestry systems.
- Ospina Ante, A., Beer, J., Kapp, G., Lucas, C., Vargas, F., A Jiménez, F., & Schlönvoigt, A. (2003). *Agroforestería: aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal* (No. 631.58 O83). Asociación del Colectivo de Agroecología del Suroccidente colombiano, Cali (Colombia).
- Paz, I. E., de Prager, M. S., & Sadeghian, S. (2006). Relación entre dos sistemas de sombrero de café y algunas propiedades del suelo en la meseta de Popayán, Colombia. *Acta Agronómica*, 55(4), 1.
- Palomeque, F. E. (2009). Los sistemas agroforestales, una alternativa del campo mexicano. Huehuetán. Chiapas, México. In: [http://www. Monografías. Com/trabajos-pdf2/sistemas-agroforestales/sistemas-agroforestales. pdf](http://www.Monografías.Com/trabajos-pdf2/sistemas-agroforestales/sistemas-agroforestales.pdf).
- Pérez, L. E., & Suárez, L. A. (2011). Evaluación del efecto sombra en la producción de café—*Coffea arábica* L.-dentro de un sistema agroforestal tradicional con árboles en Las Minas, El Paraíso, Honduras.
- Perfecto, I., Mas, A., Dietsch, T. V., & Vandermeer, J. (2003). Species richness along an agricultural intensification gradient: a tri-taxa comparison in shade coffee in southern Mexico. *Biodivers Conserve*, 12, 1239-1252.
- Ponce, J. J. G. (2009). *Evaluación de Tres Sistemas Silvopastoriles para la Gestión Sostenible de los Recursos Naturales de la Microcuenca del Rio Chimborazo*. INIAP Archivo Histórico.

- Potvin, C., Owen, C. T., Melzi, S., & Beaucage, P. (2005). Biodiversity and modernization in four coffee-producing villages of Mexico. *Ecology and Society*, 10(1), 18.
- Quevedo, J. A. A.2010. CARACTERIZACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA PRODUCCIÓN ORGANIZADA DE CAFÉ ORGÁNICO EN CHIAPAS.
- Rangel, P. P., Hernández, M. F., García-Hernández, J. L., Puente, E. R., Rivera, J. R. E., Herrera, A. L., & Vidal, J. O. (2011). Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36(9).
- Rodríguez, V., Arizaleta, M., & Rodríguez, O. (2002). Relación de los índices Dris, índices de balance de nutrientes, contenido foliar de nutrientes y el rendimiento de cafeto en Venezuela. *Bioagro*, 14(3), 153-159
- Romero-Alvarado, Y., Soto-Pinto, L., García-Barrios, L., & Barrera-Gaytán, J. F. (2002). Coffee yields and soil nutrients under the shades of Inga sp. vs. multiple species in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 54(3), 215-224.
- Rosas Arellano, J., Escamilla Prado, E., & Ruiz Rosado, O. (2008). Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra latinoamericana*, 26(4), 375-384.
- Ruelas-Monjardín, L. C., Nava-Tablada, M. E., Cervantes, J., & Barradas, V. L. (2014). Importancia ambiental de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. *Madera y bosques*, 20(3), 27-40.
- Sadeghian-khalajabadi, S. (2003). Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. *Cenicafé*, v.54.
- Salgado, J. (2012). Producción de madera en sistemas agroforestales con café. *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. CATIE, Turrialba*, 145-160.
- Sánchez, L. M., Vélez, J. G., Durán, S. M., García, R., & Botero, J. E. (2008). Estudio regional de la biodiversidad en los paisajes cafeteros de Santander.

- Sánchez Soto, H., Vásquez, J., & Medina Aguirre, L. (2011). Diagnóstico de los suelos de la cuenca hidrográfica del río Valdivia.
- Sánchez-Ramírez, J., Anaya-Sosa, I., Vizcarra-Mendoza, M. G., Gutiérrez-López, G., & Santiago-Pineda, T. (2007). Estudio de la hidrodinámica del café tostado (*Coffea arabica* L.). *www.redalyc. Org. Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6(2), 185-192.
- Sanz, C. G. C., Mejía, C. V., García, E. C., Torres, J. S. A., & Calderón, E. Y. T. (2012). *El mercado mundial del café y su impacto en Colombia* (No. 009612). BANCO DE LA REPÚBLICA
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J. & Anta, S. (2009). Capital natural de México. *Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.*
- SEFIPLAN. (2015). Secretaria de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz, Sistemas de información Municipal.
- SEMARNAT (*Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*). (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-021- RECNAT-2012. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos
- SIAP. (2014). café cereza. *Servicio de información agroalimentaria y pesquera, MÉXICO.*
- SIAP-SAGARPA. (2010). (*Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*).
- Silva, S.A. da; Arf, O.; Buzetti, S.; Silva, M.G. da. (2008). Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo em sistema plantio direto no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32.
- Somarriba, E., Beer, J., Alegre-Orihuela, J., Andrade, H. J., Cerda, R., DeClerck, F. & Krishnamurthy, L. (2012). Mainstreaming agroforestry in Latin America. In *Agroforestry-The Future of Global Land Use* (pp. 429-453). Springer Netherlands.

- Soto, F., Vantour, A., Hernández, A., Planas, A., Figueroa, A., Fuentes, P. O., & Alfonzo, H. M. (2001). La zonificación agroecológica del Coffea arabica L. en Cuba. Macizo montañoso sagua-nipe-baracoa. *Cultivos Tropicales*, 22(3), 27-52.
- Tejeda-Cruz, C., & Sutherland, W. J. (2004). Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation*, 7(02), 169-179.
- Valdez-Cepeda, R. D., Blanco-Macías, F., Murillo-Amador, B., Hernández, J. G., Magallanes-Quintanar, R., & Macías-Rodríguez, F. J. (2004). Advances in Cultivated Nopal (Opuntia spp.) Nutrition. *Esparza-Frausto, G., RD Valdez-Cepeda y SJ Méndez-Gallegos*, 155-166.
- Velázquez morales, D. E. (2015). ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL CAFÉ (Coffea arábica L.) EN MÉXICO.
- Villavicencio-Enríquez, L. (2013). Caracterización agroforestal en sistemas de café tradicional y rústico, en San Miguel, Veracruz, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(1), 67-80.
- Wadt, P. G. S., & Dias, J. R. M. (2012). Normas DRIS regionais e inter-regionais na avaliação nutricional de café Conilon. *Pesq. Agropec. Bras*, 47(6), 822-830.
- Zamarripa Colmenero, A., & Escamilla Prado, E. (2002). *Variedades de café en México origen, características y perspectivas* (No. F/633.73 Z3).

## 6. APÉNDICES

### Apéndice 1. ANOVA para Calcio.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	1.26265474	0.63132737	16.52	<.0001
Error	27	1.03183427	0.03821608		
Total, corregido	29	2.29448901			

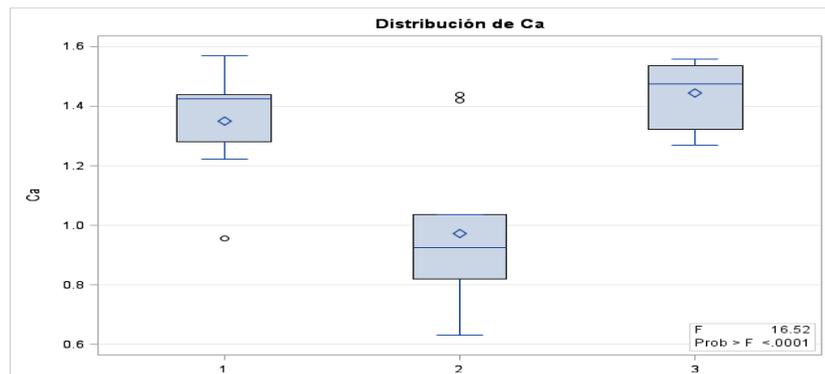


Figura 26. Prueba de comparación de media para Ca

### Apéndice 2. ANOVA para Magnesio.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	0.18896421	0.09448211	14.23	<.0001
Error	27	0.17932450	0.00664165		
Total, corregido	29	0.36828872			

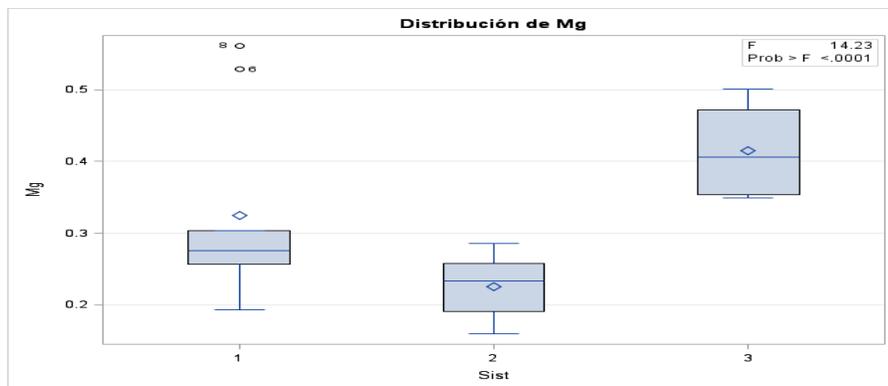


Figura 27. Prueba de comparación de media para Magnesio.

Apéndice 3. Concentración nutrimental de *Coffea arabica* L. en los tres sistemas agroforestales.

Muestras	Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg
214	SI-V1 <sup>z</sup>	0.91	0.13	1.88	1.38	0.27
215	SI-B1	0.6	0.15	1.41	1.22	0.19
216	SI-A1	0.74	0.14	2.35	1.44	0.27
217	SI-A2	1.02	0.21	2.51	1.44	0.26
218	SI-B2	0.53	0.14	2.22	1.43	0.26
219	SI-V2	1.42	0.19	7.02	0.96	0.53
220	SI-B3	0.74	0.21	9.8	1.57	0.56
221	SI-V3	0.81	0.18	8.08	1.28	0.3
222	SI-A3	0.63	0.19	7.09	1.42	0.28
223	SII-V1	0.7	0.15	6.42	1.42	0.26
223	SII-V1	0.7	0.15	5.9	1.44	0.25
224	SII-B1	0.7	0.13	6.04	0.88	0.16
225	SII-A1	0.67	0.18	5.6	0.63	0.21
226	SII-B2	0.53	0.13	5.59	1.03	0.19
227	SII-V2	0.63	0.19	4.71	0.98	0.26
228	SII-A2	0.6	0.16	4.31	0.97	0.28
229	SII-B3	0.74	0.14	4.32	0.82	0.17
230	SII-V3	1.07	0.16	4.35	0.71	0.22
231	SII-A3	0.7	0.24	4.09	0.85	0.24
232	SIII-B2	0.81	0.12	3.9	1.35	0.4
233	SIII-V2	0.81	0.24	3.34	1.46	0.48
233	SIII-V2	0.81	0.24	3.53	1.47	0.47
234	SIII-A2	0.81	0.21	3.8	1.52	0.46
235	SIII-V3	0.6	0.23	3.93	1.55	0.41
236	SIII-B3	0.67	0.23	4.04	1.54	0.35
237	SIII-A3	0.75	0.15	2.66	1.56	0.5
238	SIII-B1	0.61	0.19	3.48	1.52	0.43
239	SIII-V1	0.82	0.19	3.21	1.3	0.36
240	SIII-A1	0.65	0.22	3.2	1.32	0.35
240	SIII-A1	0.65	0.19	3.42	1.27	0.35
	B	0.72	0.19	3.903	1.24	0.32
	A	0.66	0.16	4.53	1.26	0.30
	V	0.84	0.19	4.76	1.27	0.35
	Media	0.75	0.18	4.40	1.26	0.32
	DS	0.18	0.04	1.92	0.28	0.11
	CV (%)	24	21	44	22	35

<sup>z</sup> son los tratamientos A, B y V son los sistemas I, II y III, DS = Desviación estándar y

CV= Coeficiente de variación

Continuación ....

Muestras	Trat.	Fe	Mn	mg kg <sup>-1</sup>			
				S	Zn	Cu	B
214	SI-V1 <sup>z</sup>	134.4	232.05	0.32	11.17	6.07	79.54
215	SI-B1	125.3	143.15	0.28	9.07	4.32	79.54
216	SI-A1	140.8	230.2	0.49	10.67	6.07	88.63
217	SI-A2	201.1	80.5	0.51	12.97	7.62	134.09
218	SI-B2	327.8	137.2	0.3	9.77	9.82	115.9
219	SI-V2	394.1	89.85	0.3	14.07	27.82	88.63
220	SI-B3	971.2	193.7	0.38	13.82	11.17	165.9
221	SI-V3	83.9	340.1	0.42	11.17	7.67	170.45
222	SI-A3	130.7	172.4	0.41	13.87	6.12	147.72
223	SII-V1	151.1	241.75	0.27	13.92	7.67	97.73
223	SII-V1	117.9	199.3	0.28	13.97	7.32	97.77
224	SII-B1	91.1	246.1	0.25	9.17	5.62	79.54
225	SII-A1	148	100.3	0.28	8.62	6.57	56.82
226	SII-B2	125.3	132.8	0.44	9.52	5.57	84.09
227	SII-V2	208.7	162	0.3	14.92	10.52	111.36
228	SII-A2	286.6	299.5	0.47	10.32	13.12	175
229	SII-B3	395.2	137.5	0.28	29.42	14.97	84.09
230	SII-V3	248.4	207.6	0.38	13.72	10.42	65.9
231	SII-A3	76.2	162.6	0.47	9.07	3.82	75
232	SIII-B2	133.9	123.85	0.43	10.87	5.17	97.73
233	SIII-V2	281	228.6	0.33	18.72	10.32	120.45
233	SIII-V2	208.7	235.3	0.33	18.92	8.22	120.45
234	SIII-A2	156.1	164.5	0.47	11.62	7.92	152.27
235	SIII-V3	162	384	0.33	15.47	9.47	156.82
236	SIII-B3	101.4	191.4	0.42	10.52	4.92	138.64
237	SIII-A3	133.5	252.2	0.76	9.97	5.02	120.45
238	SIII-B1	164.3	448.3	0.33	11.52	5.02	129.54
239	SIII-V1	394.8	453.9	0.36	15.07	22.52	120.45
240	SIII-A1	129.3	341	0.44	11.87	3.37	156.82
240	SIII-A1	117.1	313.4	0.46	10.77	4.67	115.91
	B	151.94	211.66	0.48	10.975	6.43	122.27
	A	270.61	194.89	0.34	12.63	7.4	108.33
	V	216.82	252.22	0.33	14.65	11.64	111.78
	Media	211.33	221.50	0.38	12.82	8.63	114.24
	DS	171.08	98.57	0.10	4.12	5.33	33.13
	CV (%)	81	44	27	32	62	29

<sup>z</sup>son los tratamientos A, B y V son los sistemas I, II y III, DS = Desviación estándar y CV=Coeficiente de variación.

Apéndice 4. Datos de caracterización de los cafetos del sistema I.

Sistema I de <i>Coffea arábica</i> L.						
Tratamientos						
Repeticiones.	Testigo		Tradicional		Nutrimental	
	Altura (cm)	Tallos	Altura (cm)	Tallos	Altura (cm)	Tallos.
1	150	3	145	2	139	3
	140	3	149	3	142	3
	145	2	143	4	144	3
	152	3	140	3	18	4
2	150	3	152	3	155	3
	160	3	150	4	150	2
	162	2	155	1	162	3
	164	3	160	2	158	4
3	160	4	150	2	165	3
	152	3	155	3	163	2
	152	3	145	2	169	3
	45	3	153	3	168	4

Apéndice 5. Datos de caracterización de los cafetos del sistema II.

Sistema II de <i>Coffea arábica</i> L.						
Tratamientos						
Repeticiones	Testigo		Tradicional		Nutrimental	
	Altura (cm)	Tallos	Altura (cm)	Tallos	Altura (cm)	Tallos
1	103	2	131	2	117	2
	113	2	138	3	114	2
	115	4	123	2	122	2
	104	5	134	3	112	4
2	134	5	150	3	129	2
	134	2	142	3	150	2
	144	7	132	2	162	5
	152	2	128	3	158	4
3	126	4	127	2	122	4
	139	3	112	3	142	2
	140	3	130	4	135	3
	144	3	124	3	124	4

Apéndice 6. Datos de caracterización de los cafetos del sistema III.

Sistema III de <i>Coffea arábica</i> L.						
Repeticiones	Testigo		Tradicional		Nutrimental	
	Altura (cm)	Tallos	Altura (cm)	Tallos	Altura (cm)	Tallos.
1	143	2	144	3	128	3
	110	3	146	3	138	5
	138	3	163	3	147	3
	146	3	114	2	143	3
2	125	2	147	2	133	2
	129	3	145	1	145	3
	130	4	137	5	142	4
	140	3	139	3	130	2
3	137	3	139	2	132	1
	136	1	132	3	130	2
	126	3	134	4	145	2
	124	2	143	3	128	3

Apéndice 7. Componentes arbóreos en el sistema I.

<i>Erythrina poeppigiana</i>	Alturas (m)	Diámetros (cm)
1	14.5	120
3	15.6	115
4	12.8	110
5	13.8	113
6	14.2	110.6
7	13.8	105.7
8	12.5	100.6
9	11.5	90.6
10	14.6	120
11	12.8	107.3
12	13.8	95

Apéndice 8. Componentes arbóreos en el sistema II.

<i>Grevillea robusta</i>	Alturas (m)	Diámetros (cm)
1	7.6	52
3	6.8	55
4	7.2	48
5	6.9	46
6	6.2	50
7	6.2	38
8	8.7	40
9	6.8	38
10	8.6	42
11	7.5	48
12	5.6	37

Apéndice 9. Componentes arbóreos en el sistema III.

<i>Bursera simaruba</i>	Alturas (m)	Diámetros (cm)
1	12.5	122
2	13.7	135
3	10.8	115
4	11.6	115
5	10.9	108
6	12.4	110
7	9.2	117.5
8	9.8	110
9	10.8	115
10	10.7	110
11	10.4	112
12	10.6	108
<i>Inga spp</i>		
1	10.7	46
2	10.2	76
3	8	35
4	9.6	42
5	10.8	64
6	9	72
7	7	45
8	8	54
9	8.5	62
10	7.9	48
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>		
1	11.5	50
2	10.3	36
3	9.1	44



Figura 29. Identificación del efecto de los tratamientos.



Figura 28. Efecto del tratamiento nutricional en el sistema II.



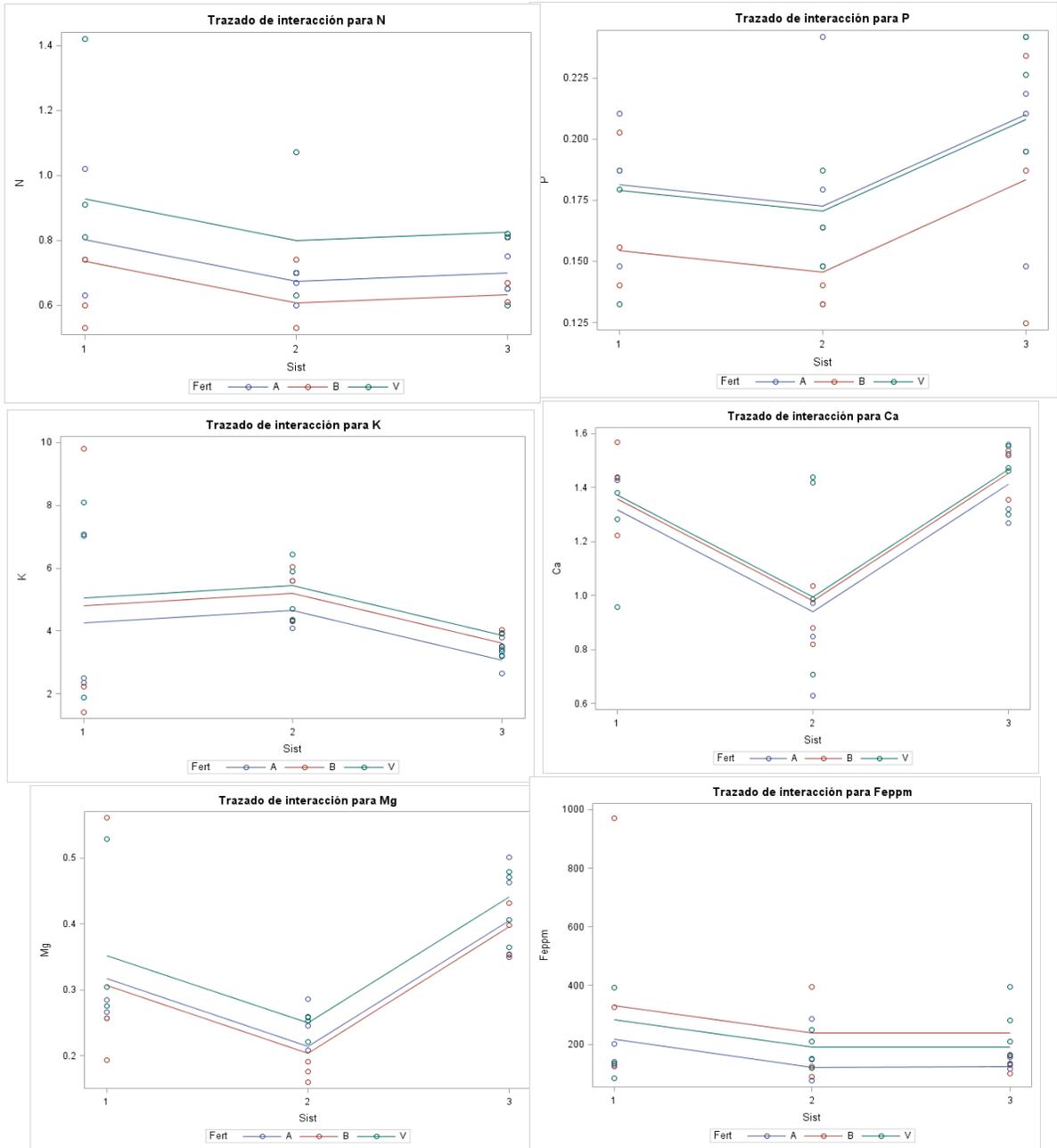
Figura 30. Alturas de los tratamientos nutricionales con respecto a los demás tratamientos en el sistema I.



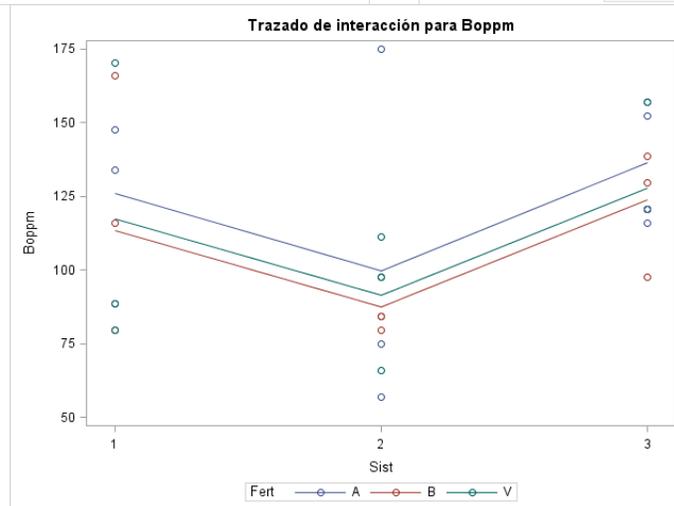
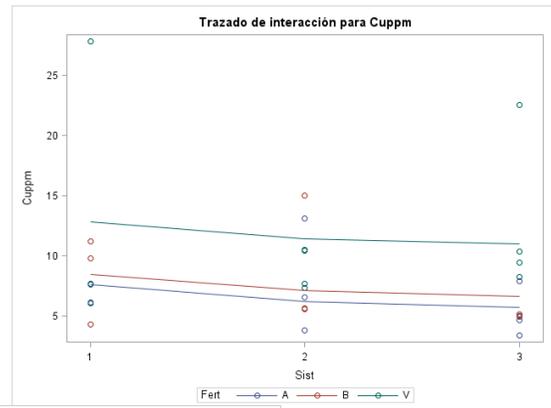
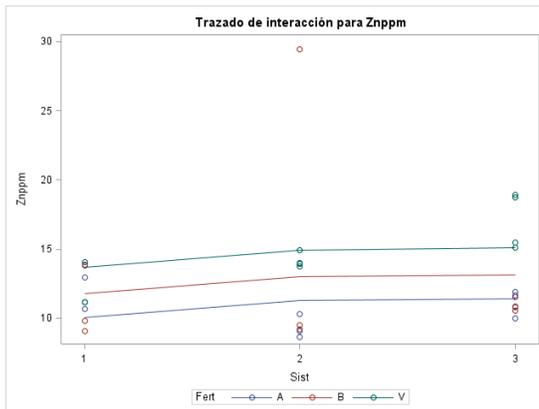
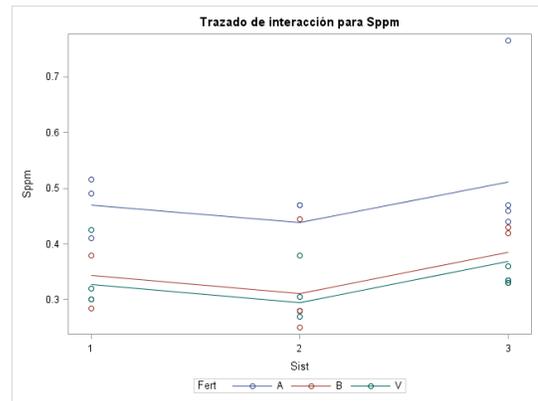
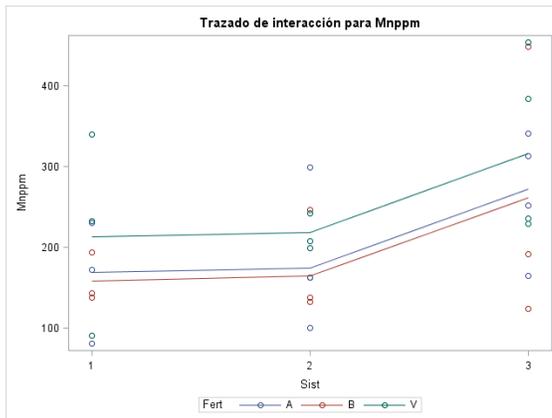
Figura 31. Diferenciación de los tratamientos nutrimentales y tradicionales en el sistema III.



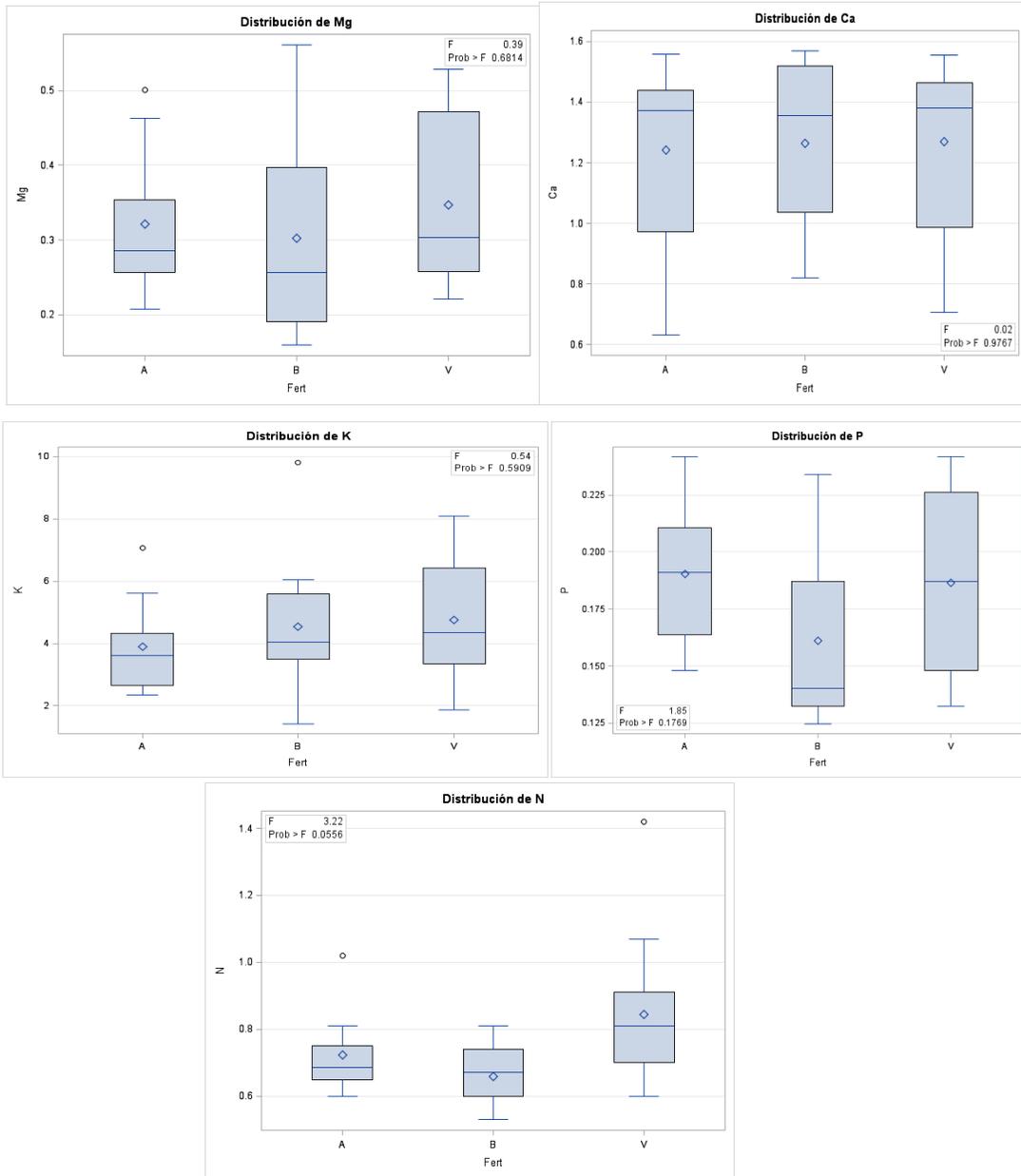
Figura 32. Diagnóstico visual del efecto de los tratamientos nutrimentales en los sistemas II y III.



Apéndice 10. Interacción de nivel nutrimental en los tres sistemas agroforestales.



Apéndice 11. Interacción de nivel nutrimental en los tres sistemas agroforestales.



Apéndice 12. Distribución de los elementos en los tres tratamientos.

Apéndice 13. Correlación entre variables de manejo y concentración Nutricional.

	<i>Altura (cm)</i>	<i>Tallos</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>S</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>B</i>
	%					mg kg <sup>-1</sup>							
Altura (cm)	1.00												
Tallos	-0.22	1.00											
N %	0.05	-0.15	1.00										
P%	-0.16	-0.12	0.08	1.00									
K%	-0.07	0.19	0.12	0.05	1.00								
Ca%	0.19	-0.29	-0.15	0.24	-0.16	1.00							
Mg%	-0.04	-0.07	0.32	0.50	0.12	0.57	1.00						
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	0.33	0.15	0.21	0.13	0.40	0.06	0.42	1.00					
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	-0.08	-0.01	-0.24	0.19	-0.10	0.31	0.23	-0.06	1.00				
S (mg kg <sup>-1</sup> )	0.04	0.13	0.01	0.08	-0.21	0.27	0.29	-0.15	0.06	1.00			
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	0.10	-0.26	0.19	0.17	0.08	-0.03	0.10	0.36	0.00	-0.31	1.00		
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0.15	0.11	0.58	0.06	0.23	-0.22	0.28	0.54	0.01	-0.27	0.44	1.00	
B (mg kg <sup>-1</sup> )	0.21	0.02	-0.19	0.46	0.20	0.58	0.50	0.24	0.44	0.32	0.03	0.02	1.00

Apéndice 14. Datos de alturas y diámetros de los componentes de sombra en los tres sistemas agroforestales.

No <sup>z</sup>	Sistemas									
	I <sup>y</sup>		II		Bursera s.		III		Acrocarpus f.	
	Al. <sup>w</sup> (m)	D (cm)	Al. (m)	D (cm)	Al. (m)	D (cm)	Al. (m)	D (cm)	Al. (m)	D (cm)
1	14.5	120	7.6	52	12.5	122	12.4	52	8.79	54.4
3	15.6	115	6.8	55	13.7	135	10.7	46	11.5	50
4	12.8	110	7.2	48	10.8	115	10.2	76	10.3	36
5	13.8	113	6.9	46	11.6	115	8	35		
6	14.2	110.6	6.2	50	10.9	108	9.6	42		
7	13.8	105.7	6.2	38	12.4	110	10.8	64		
8	12.5	100.6	8.7	40	9.2	117.5	9	72		
9	11.5	90.6	6.8	38	9.8	110	7	45		
10	14.6	120	8.6	42	10.8	115	8	54		
11	12.8	107.3	7.5	48	10.7	110	8.5	62		
12	13.8	95	5.6	37	10.4	112				
Mínimo	11.5	90.6	5.6	37	9.2	108	7	35	8.79	36
Máximo	15.6	120	8.7	55	13.7	135	12.4	76	11.5	54.4
Rango	4.1	29.4	3.1	18	4.5	27	5.4	41	2.71	18.4
Media	13.63	107.98	7.10	44.91	11.16	115.41	9.42	54.80	10.20	46.80
DS	1.15	9.51	0.97	6.24	1.30	7.66	1.63	13.41	1.36	9.61
CV %	8.43	8.81	13.60	13.89	11.61	6.64	17.33	24.48	13.32	20.53

<sup>z</sup> Número de los componentes del sistema, <sup>y</sup> = Los sistemas I, II y III, <sup>x</sup>= (*Erythrina poeppigiana*), (*Grevillea robusta*), (*Bursera simaruba* + *Acrocarpus fraxinifolius* + *Inga spp*), <sup>w</sup> Altura y Diámetro, DS= Desviación estándar, CV= Coeficiente de variación.