Universidad Autónoma Chapingo

Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

REHABILITACIÓN DE CAFETALES AFECTADOS POR *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome MEDIANTE UN MANEJO AGROECOLÓGICO EN EL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOMÉ LOXICHA, OAXACA

HUITZIN LÓPEZ REYES

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO ESPECIALISTA EN FITOTECNIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO MEXICO
DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

ENSEÑANZA E INVESTIGACION
FITOTECNIA
SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Chapingo, Texcoco, Estado de México.

2015

ENSEÑANZA E INVESTIGACION
FITOTECNIA

La presente tesis titulada **"REHABILITACIÓN DE CAFETALES AFECTADOS POR *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome MEDIANTE UN MANEJO AGROECOLÓGICO EN EL MUNICIPIO DE SAN BARTOLOMÉ LOXICHA, OAXACA"** fue realizada por el **C. Huitzin López Reyes** bajo la dirección de la **Dra. Rita Elise Schwentesius de Rindermann**, la **M. C. Laura Gómez Tovar** y el **Dr. Manuel Ángel Gómez Cruz,** ha sido revisado y aprobado por el jurado examinador, como requisito parcial para obtener el título de **INGENIERO AGRÓNOMO ESPECIALISTA EN FITOTECNIA.**

JURADO EXAMINADOR

PRESIDENTE	DRA. RITA ELISE SCHWENTESIUS DE RINDERMANN
SECRETARIO	DR. MANUEL ÁNGEL GÓMEZ CRUZ
VOCAL	DR. SERGIO ROBERTO MÁRQUEZ BERBER
SUPLENTE	ING. EDGAR LÓPEZ HERRERA
SUPLENTE	M. C. LAURA GÓMEZ TOVAR

Chapingo, Texcoco, Estado de México, a noviembre de 2015.

DEDICATORIA

A mis padres: Fernando y Dominga por su cariño, apoyo incondicional y sacrificios que hoy se ven relejados en la culminación del presente trabajo.

A mi abuela Petra y primo José porque siempre me han demostrado su cariño y motivación para conseguir mis metas.

A mis tíos, Teresa y Antonio, fue una bendición el haberlos conocido y con quienes estaré agradecido de por vida.

A Mariela, Jorge y Sergio, gracias por su convivencia y buenos momentos.

A Silvia, Jenny, Atzirí, Arelí, Angeluz y Monse por los increíbles momentos que convivimos.

A Araceli, tu partida temprana ha dejado un vacío en nuestras vidas.

A mis compañeros y amigos de generación con quienes tuve la oportunidad de convivir y por coincidir en conseguir nuestros sueños.

A los productores de San Bartolomé Loxicha por su apoyo, su dedicación es la inspiración para la realización de más trabajos como estos. En especial mención a Don Paulino, Don Tello, Rubén, Don Celedonio, Don Calixto y Don Crisóforo.

AGRADECIMIENTOS

A mí querida Alma mater, la “Universidad Autónoma Chapingo” por haberme permitido llegar a culminar mis estudios de la carrera profesional y por proporcionarme durante los cinco años que duró esta aventura las herramientas para defenderme en la vida laboral.

A mí querido departamento de Fitotecnia por permitirme adquirir los conocimientos necesarios para ser el mejor, y a los profesores que influyeron en mi formación académica, sus consejos y experiencias fueron bien recibidas.

A la Dra. Rita Elise Schwentesius de Rindermann por su confianza y apoyo en la dirección de este trabajo y por haberme permitido colaborar con su equipo de trabajo en la región Loxicha.

Al Dr. Manuel Ángel Gómez Cruz por su apoyo, motivación y orientación en el presente trabajo.

Al Dr. Sergio Roberto Márquez Berber, Ing. Edgar López Herrera y M. C. Laura Gómez Tovar por sus correcciones y sugerencias para con el este trabajo.

Al equipo del CIIDRI Ing. René Reyes Rosales, Ing. Octavio Villatoro López y Osciel Rodríguez por su apoyo en campo para la realización del presente trabajo.

A quienes colaboraron directa o indirectamente durante las salidas a campo: alumnos del departamento de agroecología.

A Sonia Martínez Piña, Marion Shutter y Diego Vargas por su convivencia amena durante la estancia en el municipio de San Bartolomé Loxicha.

A Bienes Comunales de San Bartolomé Loxicha por su apoyo durante la estancia preprofesional, en especial mención al Comisariado de Bienes Comunales Prof. Isidoro Jiménez Pacheco y equipo.

ÍNDICE GENERAL

I. RESUMEN 1

II. ABSTRACT 2

III. INTRODUCCIÓN 3

Planteamiento del Problema. 4

Justificación. 5

Objetivo general. 6

Objetivos particulares. 6

IV. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL 7

Importancia de la Producción de Café a Nivel Mundial, Nacional, Estatal y Municipal. 7

Superficie cosechada, distribución de la producción y rendimientos por país. 7

Superficie cosechada, distribución de la producción y rendimientos por estado. 8

Superficie cosechada, distribución de la producción y rendimientos por DDR. 9

Superficie cosechada, distribución de la producción y rendimientos por municipio del DDR Costa. 10

Principales Variedades Cultivadas de Café. 12

Sistemas de Producción de Café en México. 13

Factores edafoclimáticos que influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo de café 16

Clima. 16

Altitud y latitud. 16

Vertientes 17

Temperatura. 17

Humedad 19

Heladas y granizo 19

Vientos 19

Suelos 20
Plagas y enfermedades. 21
Plagas 21
Broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) 21
El piojillo de los cojines florales (*Orthezia praelonga* Douglas y *O. insignis* Browne) 21
Escama articulada (*Selenaspidus articulatus* Morgan) 22
Gorgojo del grano de café (*Araecerus fasciculatus* De Geer) 22
Hormiga arriera (*Atta cephalotes*) 22
Minador de la hoja (*Leucoptera coffella*) 23
Barrenador de tallos tiernos (*Xylosandrus morigerus* Blandford) 23
Piojo harinoso del follaje (*Planococcus citri* Risso) 24
Gusano monturita (*Sibine* sp.) 24
Falsos medidores (*Trichoplusia ni* Hubner y *Pseudoplusia includens* Walker) 24
Escamas o queresas 25
Chacuatete (*Idiarthron subquadratum* Sauss & Pict) 25
Barrenador del tallo del cafeto (*Plagiohammus maculosus* Bates) 25
Araña roja (*Oligonychus ilicis* Mc Gregor) 26
Palomilla de la raíz (*Dysmicoccus* sp.) 26
Gallina ciega (*Anómala* sp, *Phyllophaga* sp.) 26
Nematodos (*Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp.) 27
Pulgones (*Toxoptera aurantii* Fonscolombe) 27
Enfermedades 28
Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) 28
Ojo de gallo (*Mycena cictricolor*) 28
Mal de hilachas (*Corticium koleroga* Cooke) 28

Pudrición radicular del cafeto (*Rosellinia* sp.) 29
Requemo o derrite (*Phoma costarricensis* Ech.) 29
Damping off (*Rhizoctonia* sp., *Pellicularia filamentosa*, *Fusarium* sp.) 30
Mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* Berk & Cook.) 30
Los Cafés Diferenciados. 31
Situación de la Agricultura Orgánica y Producción de Café Orgánico en México. 32
El cambio climático y sus repercusiones en el cultivo del café. 34
La roya del café (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) 36
Origen y distribución 36
Sintomatología y comportamiento de la roya del café. 38
Políticas y programas de gobierno para el control de la roya en México. 39
La Agroecología y Sus Principios. 41
La Agricultura Orgánica y Sus Principios. 43
Principio de la salud 43
Principio de ecología 43
Principio de imparcialidad 44
Principio de Cuidado 44
El manejo integrado de enfermedades. 44
Control cultural 46
Control biológico 47
Antibiosis 48
Parasitismo 48
Habilidad saprofítica competitiva 48
Predación 48
Cultivos de cobertura 49

Resistencia inducida 49
La Rehabilitación de Cafetales 50
Tecnologías Agroecológicas Innovadoras. 51
Consorcios de microorganismos efectivos y de montaña 51
Harina de rocas 52
Inductores de resistencia 52
Caldos minerales. 53
Compostas 53
Foliares orgánicos 54
V. MATERIALES Y MÉTODOS 55
Sitio de estudio 55
Metodología 56
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 59
Caracterización de los cafetales en el municipio de San Bartolomé Loxicha 59
Sistema de cultivo, tipo de sombra y diversidad del cafetal 59
Variedades y densidad de plantación. 60
Situación del cultivo 61
Caracterización de plagas y enfermedades en los cafetales 62
Monitoreo de *H. vastatrix* en cafetales de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca. 63
Desarrollo de *H. vastatrix* en el municipio de San Bartolomé Loxicha 66
Fenología del cultivo de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha. 71
Descripción de prácticas agronómicas para la rehabilitación de cafetales 73
Establecimiento de almacigo de café 73
Procedencia de la semilla 73
El despulpado 74

Fermentado y lavado de las semillas 74
Selección de la semilla 74
Selección del lugar y espacio del almacigo. 75
Preparación y desinfección del sustrato. 75
Siembra 76
Cobertura del almacigo 77
Riegos 77
Enfermedades en el almacigo 78
Establecimiento de vivero de café 78
Preparación de sustrato 78
Elección y llenado de bolsas 80
Establecimiento del sombreado. 80
Trasplante de cafetos 81
Fertilización 82
Manejo de cafetales afectados por la roya de café 83
Implementación de podas 83
Poda de formación 83
Poda de rejuvenecimiento 84
Poda fitosanitaria 86
Encalado y protección de cortes de la poda. 87
Mantenimiento de la sombra 88
Establecimiento de barreras muertas para el control de la erosión 89
Selección y raleo de brotes 90
Prácticas para incrementar la fertilidad del suelo y mejorar la nutrición del cafeto. 92
Análisis de suelo y planta 92

Deficiencias nutricionales 92
Nitrógeno 93
Fosforo 93
Potasio 93
Azufre 93
Calcio 94
Magnesio 94
Hierro 94
Manganeso 94
Boro 95
Zinc 95
Cloro 95
Molibdeno 95
Requerimientos nutricionales del cafeto 96
Fertilizantes permitidos en la agricultura orgánica 97
Fuentes para la remineralización de suelos y fertilización edáfica 98
Dolomita 98
Zeolita 99
Leonardita 99
Roca fosfórica 100
Vermicomposta a partir de pulpa de café 100
Fuentes para la fertilización foliar 102
Quelatos 102
Ácidos húmicos y fúlvicos 103
Aminoácidos 104

Remineralización de suelos y fertilización edáfica. 105
Fertilización foliar en café 107
Manejo de biodiversidad edáfica para incrementar la fertilidad 111
Manejo de plagas y enfermedades 114
El papel del silicio en el manejo de la roya del café 117
Manejo de arvenses.....121
Programa de manejo integral de la roya del café. 124
Costos de producción de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha. 130
Costos de manejo integrado de la roya dentro de proceso de producción de café. 131
VII. CONCLUSIONES.....138
VIII. RECOMENDACIONES 138
IX. LITERATURA CITADA.....139
X. ANEXOS.....152

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Características de algunas variedades de café. 13
CUADRO 2. Países con presencia de la roya del café. 37
CUADRO 3. Requerimientos ambientales para el desarrollo de *H. vastatrix*. 39
CUADRO 4. Paquete tecnológico para el combate de la roya del café por ha. 40
CUADRO 5. Ubicación geográfica de las parcelas demostrativas. 57
CUADRO 6. Variedades y densidades de plantación de café. 61
CUADRO 7. Severidad y afectación de la roya del café en los meses de enero y abril de 2014. 63
CUADRO 8. Fenología del cafeto de almacigo a vivero. 71
CUADRO 9. Fenología del cafeto en plantas en campo. 72
CUADRO 10. Fenologia del cafeto en plantas podadas. 72

CUADRO 11. Fechas de poda en parcelas demostrativas. 87
CUADRO 12. Requerimientos nutricionales del cultivo café para la formación de organos. .. 96
CUADRO 13. Requerimientos nutricionales del cafeto en crecimiento vegetativo y reproductivo. 96
CUADRO 14. Aporte nutrimental de la pulpa fresca de café. 101
CUADRO 15. Calidad química y bioquímica de la lombricomposta de pulpa de café. 102
CUADRO 16. Contenido de nutrientes del foliar orgánico “Gume”. 105
CUADRO 17. Contenido de nutrientes de lixiviado de lombriz. 105
CUADRO 18. Contenido de nutrientes del caldo ceniza. 105
CUADRO 19. Mezcla mineral propuesta por Noriega *et al.* (2014) para café. 105
CUADRO 20. Mezcla mineral propuesta por el CIIDRI para café. 106
CUADRO 21. Aplicaciones de fertilizantes foliares durante el desarrollo de frutos. 110
CUADRO 22. Enemigos naturales de *H. hampei.* 115
CUADRO 23. Plagas y manejo. 116
CUADRO 24. Enfermedades y manejo. 117
CUADRO 25. Especies de arvenses y su clasificación. 122
CUADRO 26. Clasificación de arvenses, estrategias y prácticas de manejo. 123
CUADRO 27. Programa para el manejo integral del cultivo de café. 126
CUADRO 28. Principios y técnicas agroecológicas implementadas en el manejo del café.. 129
CUADRO 29. Costos de producción de 1 ha de café. 130
CUADRO 30. Costo de elaboración del caldo ceniza. 131
CUADRO 31. Costo de elaboración del caldo sulfocálcico. 131
CUADRO 32. Costo de elaboración del caldo bordelés. 132
CUADRO 33. Precios de insumos para la rehabilitación del cafetal. 132
CUADRO 34. Costo de elaboración de microorganismos de montaña (fase sólida). 133
CUADRO 35. Costo de elaboración de microorganismos de montaña (fase líquida). 133
CUADRO 36. Costo de reproducción y activación de microorganismos efectivos. 134
CUADRO 37. Reproducción y activación de consorcio microbiano. 135
CUADRO 38. Mano de obra para la rehabilitación de 1 ha de café. 136
CUADRO 39. Insumos para 1 ha de café. 136
CUADRO 40. Costos de herramientas. 137

CUADRO 41. Fenología del cultivo de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha. 152
CUADRO 42. Sustancias que pueden emplearse como fertilizantes y acondicionadores del suelo. 155
CUADRO 43. Continuación del cuadro 42, sustancias que pueden emplearse como fertilizantes y acondicionadores del suelo. 156
CUADRO 44. Continuación del cuadro 43, sustancias que pueden emplearse como fertilizantes y acondicionadores del suelo. 157
CUADRO 45. Sustancias para el control de plagas y enfermedades de las plantas. 158
CUADRO 46. Continuación del cuadro 45, sustancias para el control de plagas y enfermedades de las plantas. 159
CUADRO 47. Continuación del cuadro 46, sustancias para el control de plagas y enfermedades de las plantas. 160
CUADRO 48. Análisis de laboratorio de muestra de dolomita. 161
CUADRO 49. Análisis de laboratorio de muestra de zeolita natural. 161
CUADRO 50. Análisis de laboratorio de muestra de leonardita. 162
CUADRO 51. Análisis de laboratorio de muestra de roca fosfórica. 162

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Principales países productores de café verde a nivel mundial y su porcentaje de participación. 7
FIGURA 2. Estados productores de café cereza en México y su porcentaje de participación. 8
FIGURA 3. Principales Distritos de Desarrollo Rural productores de café cereza en el estado de Oaxaca y su porcentaje de participación. 9
FIGURA 4. Principales municipios productores de café cereza en el DDR Costa de Oaxaca y su porcentaje de participación. 11
FIGURA 5. Ubicación del municipio de San Bartolomé Loxicha. 55
FIGURA 6. Parcelas demostrativas en el municipio de san Bartolomé Loxicha. 57
FIGURA 7. Sistema natural y policultivo tradicional. 59
FIGURA 8. Cafetos a libre crecimiento y defoliados a causa de la roya. 62

FIGURA 9. Plagas encontradas en los cafetales. 62
FIGURA 10. Nivel de daño en cafetos afectados por la *Hemileia vastatrix* Bk. & Br.. 64
FIGURA 11. Distribución de precipitación y temperatura de febrero de 2013 a septiembre de 2015. 65
FIGURA 12. Porcentaje de daño de la roya en cafetos y su relación con la precipitación y temperatura del municipio de San Bartolomé Loxicha. Fuente: INIFAP, 2015. 66
FIGURA 13. Nivel máximo de infección. 67
FIGURA 14. Fase final de la enfermedad. 68
FIGURA 15. Esporulación y dispersión del inoculo primario. 68
FIGURA 16. Fase inicial e inicio de la infección del hongo *Hemileia vastatrix* vista desde el envés y el haz de hojas de cafetos. 69
FIGURA 17. Fase intermedia de la enfermedad. 69
FIGURA 18. Ojo de gallo. 70
FIGURA 19. Pudrición de la raíz. 71
FIGURA 20. Tipos de semillas de café. 75
FIGURA 21. Solarizado del sustrato para la cama de siembra. 76
FIGURA 22. Surcado y siembra de semillas de café. 76
FIGURA 23. Cobertura y riego del almácigo de café. 77
FIGURA 24. Comparación de plantas producidas en viveros. 78
FIGURA 25. Prueba de mezclas de sustrato (tierra de monte y arena). 79
FIGURA 26. Preparación del sustrato para el llenado de bolsas. 79
FIGURA 27. Llenado de bolsas con sustrato. 80
FIGURA 28. Malla sombra en vivero. 81
FIGURA 29. Sistema radical de las plántulas de cafeto en vivero. 81
FIGURA 30. Deformaciones de las raíces de plántulas de cafeto. 82
FIGURA 31. Aplicación de harina de rocas en el sustrato. 82
FIGURA 32. Poda de formación en cafeto (descope). 84
FIGURA 33. Recepa de cafetos. 85
FIGURA 34. Poda fitosanitaria (poda de cariño). 86
FIGURA 35. Encalado de tocones. 87
FIGURA 36. Alzado de sombra. 88

FIGURA 37. Barreras muertas realizadas con tallos y ramas de cafetos podados. 89
FIGURA 38. Selección de brotes. 91
FIGURA 39. Respuesta de cafetos a los tratamientos de inductores de resistencia. 120
FIGURA 40. Coberturas nobles. 124
FIGURA 41. Deficiencias de nitrógeno y fosforo. 153
FIGURA 42. Deficiencias de potasio y azufre. 153
FIGURA 43. Deficiencias de calcio y magnesio. 153
FIGURA 44. Deficiencias de hierro y manganeso. 154
FIGURA 45. Deficiencias de boro y zinc. 154
FIGURA 46. Deficiencias de cloro y molibdeno. 154

I. RESUMEN

El café es el segundo producto más importante en el comercio mundial, tan solo después del petróleo. En México el cafeto cobra importancia por cultivarse en zonas pertenecientes a pueblos originarios, de difícil acceso, con rezagos en infraestructura y tecnología, de pobreza extrema y con poco manejo de las plantaciones. México es el segundo productor de café orgánico en el mundo después de Perú. El manejo orgánico de los cafetales es una opción cada vez más recurrente por parte de los productores al presentarse un incremento en la demanda de productos orgánicos cuyo valor en el mercado es más elevado que los productos convencionales. Ante la situación de cambio climático, la cafeticultura se ve afectada por la incidencia de fenómenos meteorológicos que repercuten en la calidad de los suelos cafetaleros generándose: pH ácidos, la lixiviación de nutrientes, baja capacidad de intercambio catiónico.

De igual forma se ve afectada la sanidad del cultivo ante la presencia aún más constante de plagas y enfermedades que ven una oportunidad en el desbalance nutricional del cultivo para establecerse. La roya del café por ejemplo, es una de las enfermedades más devastadoras del cultivo. En México tuvo su aparición en 1981 en el estado de Chiapas, particularmente en el año 2013 recobró importancia debido a una nueva epidemia de la enfermedad. En Oaxaca, específicamente en el municipio de San Bartolomé Loxicha tuvo lugar un brote de la enfermedad que devasto las plantaciones de café y redujo la producción en más de 30 %.

Ante esta problemática surge por parte del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral (CIIDRI) la implementación de un paquete tecnológico basado en insumos permitidos por las normas de producción orgánica, para el manejo de la enfermedad y la rehabilitación de los cafetales afectados por la roya. El paquete tecnológico incluye la remineralización y fertilización de suelos, el manejo de la biodiversidad edáfica, la implementación de caldos minerales y de inductores de resistencia.

A su vez el paquete tecnológico se complementa con prácticas agronómicas dentro de las que se incluyen: podas, mantenimiento de sombra, manejo de arvenses, control de la erosión, el manejo integrado de plagas y enfermedades, las buenas prácticas de cosecha y la producción de plantas de café, con el fin de mantener un estado saludable del cultivo, mejorar la producción y renovar las plantaciones agotadas.

II. ABSTRACT

The coffee is the second most important product in world trade, only after oil. In México, it becomes important for the coffee plant grown in areas belonging to indigenous peoples, inaccessible, with lags in infrastructure and technology, extreme poverty and with little plantation management. Mexico is the second largest producer of organic coffee in the world after Peru. The organic management of the coffee is an increasingly common option for the producers to present an increase in demand for organic products whose market value is higher than conventional products.

Given the situation of climate change, coffee production is affected by the impact of weather events affecting the soil quality coffee generated: acid pH, nutrient leaching, low cation exchange capacity. Similarly, it affected crop health further to the constant presence of pests and diseases that see an opportunity in the growing nutritional imbalance to settle. The coffee rust for example, is one of the most devastating diseases of the crop. In México, he had its appearance in 1981 in the state of Chiapas, particularly in 2013 regained importance due to a new outbreak of the disease. In Oaxaca, specifically in the municipality of San Bartolomé Loxicha there was an outbreak that devastated the coffee plantations and reduced production by more than 30%.

Faced with this problem it arises from the Interdisciplinary Research Centre for Integrated Rural Development (CIIDRI) implementation based on a technology package allowed by the rules of organic production, for disease management and rehabilitation of coffee plantations affected by inputs rust. The technology package includes the remineralization and soil fertilization, management of soil biodiversity, the implementation of mineral broths and resistance inductors.

In turn, the technology package is complemented by agronomic practices within which include: pruning, maintenance of shade, weed management, erosion control, integrated pest and disease management, good practices and crop production coffee plants, in order to maintain a healthy state of the crop, improve production and renew the exhausted plantations.

III. INTRODUCCIÓN

El cultivo de café o cafeto es originario de Etiopia. Desde 1530 el consumo de café se extendió primeramente en Medio Oriente. En 1560 pasó a Constantinopla y luego a Europa, donde Francia fue el primer país europeo que lo importó. De Francia pasó a Inglaterra siendo que para el año 1600 del siglo XVII el café ya había sido introducido en toda Europa. En 1680 los holandeses lograron aclimatar la planta en Java y Batavia, de donde pasó a Ceilán (actualmente Sri Lanka) y se convirtió en el cultivo principal (Durán, 2009).

Durán (2009) menciona que hacia el siglo XVIII, el café comenzó a cultivarse en centro y sudamérica primeramente en Martinica y las Guayanas; para 1727, se cultivaba en Brasil y más tarde en Colombia sustituyendo así las zonas productoras tradicionales de Indonesia, Ceilán y Java. El café llegó a México en 1795; Veracruz, Morelos, Michoacán y Oaxaca, fueron los primeros estados en cultivarlo (Mogel y Toledo, 1996). Hoy en día el café se cultiva en las zonas montañosas de alrededor de 15 estados de la república mexicana y se estima que cerca de un 60 % de los pequeños productores son indígenas (Gómez *et al*., 2010).

El café es el segundo producto más importante en el comercio mundial después del petróleo, en México cobra importancia por cultivarse en zonas pertenecientes a pueblos originarios, de difícil acceso, con rezagos en infraestructura y tecnología, y de pobreza extrema (Schwentesius *et al*., 2014). La FAO (2015) menciona que en el 2013 se produjo un total de 8, 920, 839 t de café verde, donde los principales países productores son Brasil, Viet Nam, Indonesia y Colombia, México ocupó el décimo lugar en producción. De acuerdo con datos del SIAP (2015) en el 2014 a nivel nacional se produjeron alrededor de 129,781.19 t de café cereza que actualmente se cultiva en 15 estados de la República Mexicana; destacan por su producción Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca. Escamilla (2012) menciona que en el estado de Oaxaca se cultivan principalmente las variedades Typica o Criolla, Pluma Hidalgo, Caturra, Mundo Novo, Catuaí y Garnica, de estas variedades la que más destaca en los municipios de la Sierra Sur del estado es la variedad Pluma Hidalgo, donde la producción se caracteriza por plantaciones establecidas en su mayoría bajo el sistema rusticano o de montaña, además de que se mantienen bajo un enfoque de producción orgánico y cuyo producto resultante es de excelente calidad, con reconocimiento a nivel mundial.

Planteamiento del Problema.

Dentro del entorno de la caficultura a nivel mundial se han presentado problemas influenciados por el cambio climático, fenómenos del niño y de la niña, en cuyos casos se ven desfavorecidas cosechas, plantaciones y la economía de los productores. En la actualidad, una de las problemáticas que presenta la caficultura a nivel mundial es la relacionada a las plagas y enfermedades que se ve agudizada principalmente por cambios de temperatura y humedad año tras año. La roya del café (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) es el ejemplo de una de las enfermedades más temibles para la caficultura y representa un reto actual por subsanar a través del cambio de prácticas agronómicas que conllevan al agotamiento del cultivo, la selección de nuevas cepas del hongo y el perjuicio del medio ambiente donde se desarrolla el cultivo.

En Ceilán, entre los años 1871 y 1878 la producción de café se vio disminuida por la enfermedad causando el abandono de las plantaciones y su sustitución por el cultivo de té. En Brasil y Colombia al no aplicar medidas de manejo contra la roya, se redujo alrededor del 30 % en el rendimiento de las plantaciones (Monaco, 1977). Durante el período de 2008 a 2011 en Colombia, en variedades comerciales susceptibles de las principales zonas cafetaleras del país, se presentó un inusual incremento en la incidencia de esta enfermedad, así como una mayor severidad en hojas infectadas (> 30 %) (SENASICA, 2013 a). En México desde 1981 se tiene registrada la llegada de la enfermedad y esta se encuentra distribuida en los principales estados productores de café.

En el estado de Oaxaca en el 2013 en municipios de la Sierra Sur del Estado (región Loxicha), se presentó un incremento acelerado de la roya del café en cuyo caso provocó la defoliación de los cafetos y perdidas de cosechas por el incompleto desarrollo y maduración de frutos. Ante la problemática de la roya se suman la lixiviación de nutrientes, la acidificación de los suelos y una baja en la C.I.C. principalmente causados por lluvias intensas de fenómenos hidrometeorológicos (huracanes y tormentas tropicales) que mantiene en alarma al sector cafetalero de México.

Justificación.

Dado que México se ha convertido en uno de los principales países productores de café orgánico en el mundo (el segundo después de Perú) dedicando más de 25 % de su superficie del aromático a esta forma ecológica y sana de producción; además de que, existe una situación adversa por la cual atraviesa la caficultura nacional que principalmente se le atribuye a plagas y enfermedades (la roya del café actualmente), la falta de un paquete tecnológico definido, acorde a las necesidades de la producción orgánica para la nutrición del cafeto, el manejo de plagas, enfermedades y malezas; el cual se constituya como una alternativa en el manejo integral del cultivo y poder mejorar las condiciones del cultivo tanto en la producción orgánica como en la convencional; siendo que los precios de insumos (fertilizantes y agroquímicos) para la producción convencional de café van en aumento, así mismo, cada día van surgiendo más efectos perjudiciales que causan al medio ambiente y al ser humano los fertilizantes y agroquímicos. Por ello este trabajo no solamente es participe de la "Propuesta de Desarrollo Integral para el Distrito de Pochutla, Oaxaca" que se ha venido instrumentando desde 2011 por parte del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral (CIIDRI) de la Universidad Autónoma Chapingo en la región "Loxicha" del estado de Oaxaca, sino también, surge como una forma de atender y mejorar las condiciones del cultivo de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha a través de la rehabilitación de parcelas mediante la utilización de tecnologías agroecológicas innovadoras y el manejo integral del cultivo para atender el problema de la roya del café y mejorar la producción del cultivo.

Objetivo general.

a. Precisar el desarrollo de la roya del café en el municipio de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca, para el establecimiento de un programa de manejo integral del cultivo de café.

Objetivos particulares.

a. Describir las prácticas agronómicas realizadas para la rehabilitación de cafetales afectados por el hongo *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome.
b. Desarrollar un programa de manejo integral de plagas y enfermedades para la región Loxicha, enfocada en la implementación de tecnología agroecológica para el control de la roya.
c. Describir los costos y los beneficios de la tecnología agroecológica en el proceso de producción del cultivo.

IV. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Importancia de la Producción de Café a Nivel Mundial, Nacional, Estatal y Municipal.

Superficie cosechada, distribución de la producción y rendimientos por país.

En el mundo los principales países productores de café verde son: Brasil, Viet Nam, Indonesia y Colombia (FAO, 2015). La superficie cafetalera cosechada en el 2013 a nivel mundial abarcó diez millones ciento cuarenta y dos mil ochocientas treinta y seis hectáreas (10, 142, 836 ha) en cuyo caso se obtuvo una producción de ocho millones novecientos veinte mil ochocientos treinta y nueve toneladas de café verde (8, 920, 839 t). Brasil se colocó como el principal país productor de café verde con 2, 964, 538 t (33 % de la producción mundial), seguido de Viet Nam con 1, 461, 000 t (15 %), Indonesia con 698, 900 t (8 %) y Colombia con 653, 160 t (6 %). México destacó por su producción en el décimo lugar con 231, 596 t de café verde (3 %) por detrás de países como India, Honduras, Etiopia, Perú y Guatemala (figura 1).

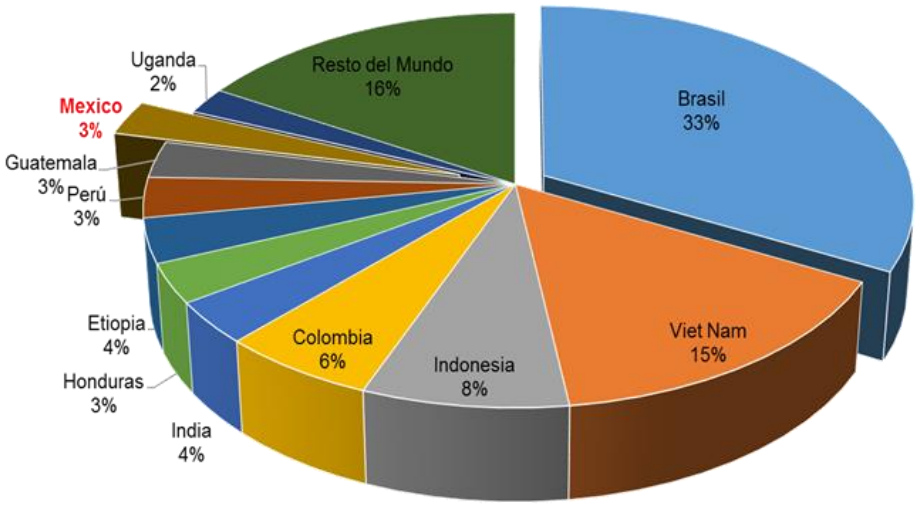

FIGURA 1. Principales países productores de café verde a nivel mundial y su porcentaje de participación.[1]

En el continente americano Brasil se coloca al frente de los países productores, seguido de Colombia, Honduras, Perú, Guatemala, México, Costa Rica y el Salvador.

[1] Fuente: FAO (2015) a través de la FAOSTAT con datos de 2009 al 2013.

Superficie cosechada, distribución de la producción y rendimientos por estado.

El SIAP 2015 se registró en el cierre agrícola 2014 una superficie cosechada de café cereza de 699,307.33 ha, ocupando los estados de Chiapas, Veracruz y Oaxaca los tres primeros lugares con: 254,020.78 ha, 138,512.81 ha y 138,422.62 ha respectivamente. En cuanto a la producción de café cereza en el 2014, el SIAP 2015 registró que los cinco primeros estados productores son: Chiapas que representa el 39 % de la producción de café cereza en México con 402,099.78 t, seguido de Veracruz con 353,697.22 t (27 %), Puebla con 148,900.46 t (12 %), Oaxaca con 129,781.19 t (11 %) y el estado de Guerrero con 48,921.88 t (4 %); el resto de los estados productores representa el 7 % de la producción nacional con 82,625.29 t (figura 2).

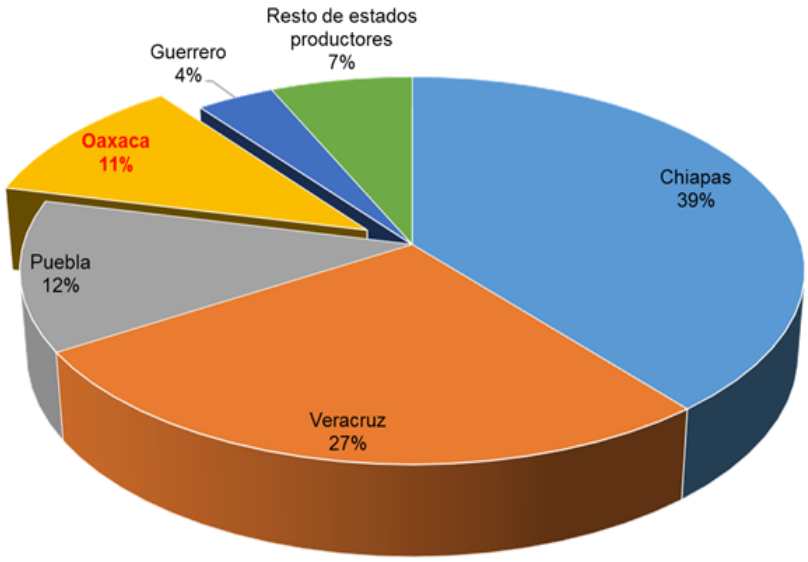

FIGURA 2. Estados productores de café cereza en México y su porcentaje de participación.[2]

El rendimiento promedio de café cereza en el 2014 a nivel nacional fue de 1.52 t/ha, Michoacán obtuvo el mayor rendimiento con 3.75 t/ha, seguido de Puebla, Veracruz y Chiapas con 2.65 t/ha, 2.55 t/ha y 1.58 t/ha respectivamente. Oaxaca obtuvo un rendimiento de 0.94 t/ha de café cereza al cierre del año agrícola 2014.

[2] Fuente: SIAP (2015) con datos del 2009 al 2014.

Superficie cosechada, distribución de la producción y rendimientos por DDR.

Para los seis Distritos de Desarrollo Rural (DDR) del estado de Oaxaca, el SIAP 2015 registró el comportamiento de la superficie sembrada de café en el 2014, siendo que el DDR Costa se colocó en el primer lugar con 50,050.17 ha, seguido de los Distritos de Desarrollo Rural Cañada, Tuxtepec, Sierra Juárez, Istmo, Huajuapan de León y Valles Centrales con 20,717.61 ha, 19,675.10 ha, 16,834.27 ha, 15,140.18 ha, 8,817.55 ha y 7,187.74 ha respectivamente.

Dentro de los Distritos de Desarrollo Rural con mayor producción de café cereza plasmados en la figura 3 se encuentran: la Sierra Juárez con 29,915.17 t, que representa el 23 % de la producción del estado seguido de Tuxtepec con 26,477.45 t (20 %), la Costa con 19,302.01 t (15 %), la Cañada con 17,121.99 t (13 %), el Istmo con 16,005.13 t (12 %), Valles Centrales con 11,125.44 t (9 %) y Huajuapan de León con 9,834.00 t (8 %) (SIAP, 2015).

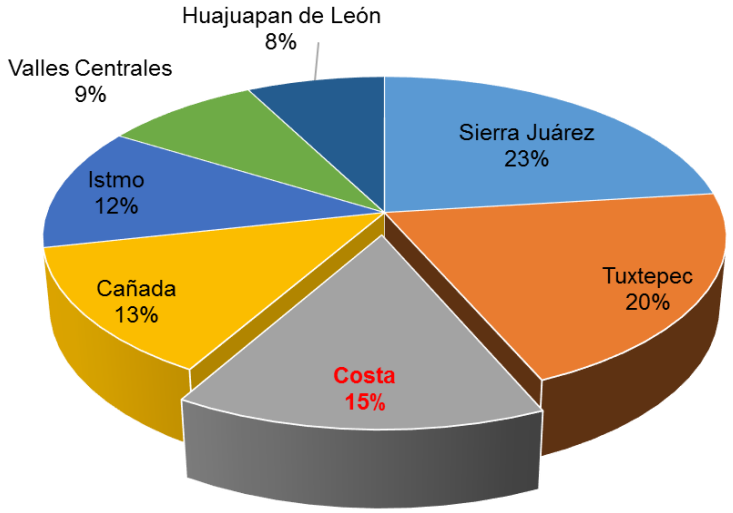

FIGURA 3. Principales Distritos de Desarrollo Rural productores de café cereza en el estado de Oaxaca y su porcentaje de participación.[3]

El rendimiento promedio de café cereza para los Distritos de Desarrollo Rural del Estado de Oaxaca es de 1.15 t/ha, el mayor rendimiento lo obtiene el DDR Sierra Juárez con 1.78 t/ha, el DDR Costa alcanza un rendimiento de 0.39 t/ha, esto indica que aun el DDR Costa teniendo

[3] Fuente: Fuente: SIAP (2015) con datos del 2014.

una mayor superficie sembrada y cosechada los rendimientos obtenidos están por debajo de la media nacional (1.52 t/ha).

Superficie cosechada, distribución de la producción y rendimientos por municipio del DDR Costa.

La superficie cosechada de café cereza en los municipios del Distritos de Desarrollo Rural Costa del Estado de Oaxaca respecto al cierre de producción agrícola 2014 según datos del SIAP (2015) son: 6332.02 ha para San Agustín Loxicha que ocupa el primer lugar, seguido de 5331.00 ha de Pluma Hidalgo y 5058.49 ha de Candelaria Loxicha, 3925.00 ha de San Mateo Piñas y 3638.12 ha de San Pedro Pochutla.

El municipio de San Bartolomé Loxicha se encuentra ubicado en el lugar número 15 con 802.61 ha. Estas cifras indican la importancia en cuanto a superficie cosechada tan solo de la cuenca del río Copalita que abarcan los municipios en cuestión (SIAP, 2015).

La mayor producción de café cereza en el 2014 para el DDR Costa lo obtuvo el municipio de Pluma Hidalgo con 3307.05 t, seguido de San Agustín Loxicha, Candelaria Loxicha, San Pedro Pochutla y San Mateo Piñas en los primeros lugares con 2216.21 t, 1770.47 t, 1673.54 t y 1373.75 t respectivamente (SIAP, 2015).

El municipio de San Bartolomé Loxicha se ubicó en el puesto 16 con 321.04 t. Tan solo los estos seis municipios que forman parte de la cuenca del Rio Copalita se obtiene el 55 % de la producción de café cereza del DDR Costa (figura 4), donde el Municipio de San Bartolomé Loxicha representa el 2 % de la producción (SIAP, 2015).

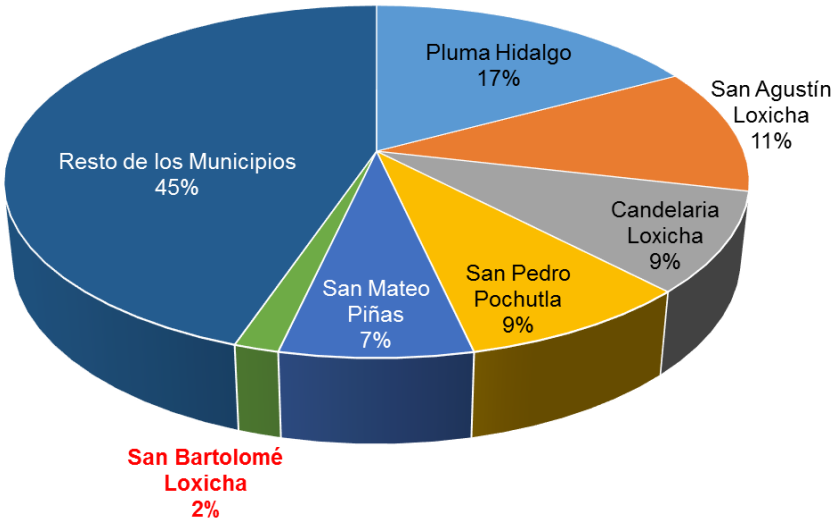

FIGURA 4. Principales municipios productores de café cereza en el DDR Costa de Oaxaca y su porcentaje de participación.[4]

El rendimiento promedio de café cereza de los municipios del Distrito de Desarrollo Rural Costa es de 0.41 t/ha, Pluma Hidalgo obtuvo un rendimiento de 0.62 t/ha por arriba de la media de los municipios, mientras que el municipio de San Bartolomé Loxicha se encuentra en cerca de la media con 0.40 t/ha. Aun así estos rendimientos se encuentran por debajo de la media nacional que es de 1.52 t/ha.

[4] Fuente: Fuente: SIAP (2015) con datos del 2014.

Principales Variedades Cultivadas de Café.

En México se cultivan dos especies de café, *Coffea arabica* L. es la de mayor importancia y extensión, aportando el 98 % de la producción; y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, cultivada principalmente en regiones de clima cálido en los estados de Veracruz, Chiapas y Oaxaca (Sosa *et al.,* 1999*)*

La producción de café orgánico en México se sustenta en el cultivo de la especie *Coffea arabica* L., la de mayor demanda y calidad en el mercado internacional, la cual está representada por diversas variedades comerciales. En el cultivo orgánico, a diferencia del cultivo convencional, se prefieren las variedades que presentan mayor adaptación al ambiente (principalmente altitud, clima y suelo), con alta calidad del grano y la bebida, productivas y con resistencia a enfermedades. Son más frecuentes las variedades de porte alto, como Typica (también denominada criollo, árabe o café nacional), Bourbón, Mundo Novo, Pluma Hidalgo y Maragogipe (Sosa *et al*., 1999).

Las variedades de porte bajo, que son importantes para el cultivo intensivo y tecnificado como son Caturra, Catuai, Garnica, Catimores (incluyendo las variedades recientes como Oro Azteca, Costa Rica 95 y Colombia y Pacamara, estos también se encuentran en los cafetales orgánicos pero son menos frecuentes. Es común que se establezcan dos o más variedades dentro de una misma parcela, habiendo plantaciones que intercalan cafetos de hasta ocho variedades diferentes (Sosa *et al.,* 1999).

Las características de algunas variedades de café se presentan en el cuadro 1, donde destaca la importancia que tiene la variedad Typica para la producción orgánica, puesto que forzosamente requiere ser cultivada bajo un nivel de sombra, permitiendo así, la conservación y diversificación de especies de sombra en el cafetal. Así también, destaca la producción de cada una de las variedades, en cuyo caso la variedad más productiva es Garnica; aun así, la variedad Typica cuenta con las mejores características organolépticas apreciadas en el mercado (Sosa *et al*., 1999; Regalado, 1996).

CUADRO 1. Características de algunas variedades de café[5].

Variedad	Porte	Color de brotes	Color de frutos	Sensibilidad	Producción (kg/planta)
Typica	Alto	Broceados	Rojos	No soporta el sol directo ni vientos	2.8-4.8
Bourbon	Alto	Verdes claros	Rojos o amarillos	Soporta el sol directo y vientos	5.0-5.1
Caturra	Bajo	Verdes claros	Rojos o amarillos	Soporta el sol directo	4.9-8.9
Mundo novo	Alto	Verdes oscuros	Rojos	Tolera la sequía	5.4-16.6
Garnica	Bajo	Verdes claros	Rojos o amarillos	Tolera el sol directo	6.5-17.6
Catuai	Bajo	Verdes claros	Rojos o amarillos	Tolera el sol directo	6.7
Catimor	Bajo	Verdes claros y bronceados	Rojos o amarillos	Tolerante a la roya anaranjada	5.2-9.4

Sistemas de Producción de Café en México.

Desde mediados del siglo XVIII, cuando el café fue introducido a México, las formas para producir el aromático se han adecuado 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 (Moguel y Toledo, 1996). Como resultado de estas variaciones, cada cafetal es único y las diferencias en las formas productivas pueden cambiar en cuestión de algunos metros de terreno. Sin embargo, a escala regional se pueden distinguir diferencias importantes en los sistemas de manejo (Nolasco, 1985; Moguel y Toledo, 1996; Escamilla y Díaz, 2002).

Al respecto, es necesario identificar las semejanzas entre la amplia gama de sistemas productivos, 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 (Manson *et al*., 2008).

[5] Fuente: Regalado (1996).

Nolasco (1985); Moguel y Toledo (1996); Escamilla y Díaz (2002) mencionan que a partir de la clasificación, se identifican subconjuntos más o menos homogéneos para caracterizar el sistema de producción de café mexicano que se ha desarrollado en más 50 regiones que presentan diferentes características ambientales, tecnológicas; socioeconómicas y culturales, en los que se ilustran las formas productivas campesinas, destacando la alta participación de productores indígenas, con más de 20 grupos que producen el aromático; además, de las derivadas del proceso de intensificación e industrialización de la producción. En estas condiciones heterogéneas donde se cultiva el café; la expresión de su complejidad y contraste se manifiesta en los sistemas de producción definidos principalmente en las características de la sombra; siendo que, los sistemas se producción o la clasificación agroecológica de cafetales se puede distinguir de la siguiente manera:

a. **Fragmento de bosque.** Mezcla de especies primarias y secundarias sin algún tipo de manejo.
b. **Rústico.** Semejante a un bosque aclarado para intercalar el café. El manejo incluye control manual de arvenses y poda ocasional de los cafetos. Se asocia con pequeños productores campesinos en zonas montañosas.
c. **Policultivo tradicional.** Utiliza diferentes combinaciones de árboles del bosque y especies frutales introducidas. El manejo incluye control de arvenses, poda selectiva del café, se puede presentar una fertilización por ciclo y no presenta control fitosanitario. Se asocia a pequeños y medianos productores.
d. **Policultivo comercial.** Se remueve el dosel natural y se siembran árboles para dar sombra que tienen un uso comercial, por lo regular de dos a tres especies. El manejo se realiza con labores generales y particulares para cada cultivo, se utilizan cantidades considerable de agroquímicos. Se asocia a pequeños y medianos productores.
e. **Monocultivo a sombra.** Se plantan árboles, muchas veces de una sola especie. El manejo incluye control de arvenses, poda selectiva y sistemática, regulación de sombra, control fitosanitario y es indispensable el uso de agroquímicos. Se asocia principalmente con medianos y grandes productores.
f. **A pleno sol.** Sin árboles y con alta dependencia de insumos agrícolas.

El café orgánico por ejemplo; en México se cultiva bajo sombra con predominio del sistema policultivo tradicional, integrando diversos árboles de vegetación nativa y secundaria, así como frutales (nativos e introducidos) y árboles de leguminosas del género *Inga*. Estos cafetales son verdaderos sistemas agroforestales que ofrecen numerosos beneficios ecológicos y económicos, entre los más relevantes están: la protección y conservación de la biodiversidad, la protección del recurso suelo, captura de carbono, captación de agua, la regulación de condiciones ambientales (lluvia, heladas, viento y granizo), la diversificación productiva y la generación de alimentos (Sosa *et al.,* 1999*)*.

En una plantación orgánica se busca más la diversidad que la uniformidad, integrando al cafetal una gran variedad de árboles que favorecen la diversidad de insectos, reptiles, aves, pequeños mamíferos, hierbas, bromelias y orquídeas entre otros. Se sabe que las leguminosas del género *Inga*, conocidas en México como chalahuite, cuil, chalum, cuajinicuil, vainillo, guaje, paterna y jinicuil, etc., son los árboles ideales para sobra al café; sin embargo, la sombra especializada no deja de ser un monocultivo poco estable (Sosa *et al.,* 1999*)*.

En diferentes referencias sobre café a nivel mundial, están plasmadas las numerosas ventajas que ofrece la sombra al cultivo, no obstante en la actualidad cobran gran importancia los servicios ambientales asociados a la reforestación y la alta calidad del café obtenido bajo sombra. Asimismo el cafetal constituye una oportunidad para intercalar otros cultivos, ya sea anuales o perennes, y que contribuyan a la diversificación de ingresos; experiencias exitosas se han desarrollado en México con los policultivos comerciales. Además, la mayor parte de los pequeños productores de café en México son minifundistas, con predios inferiores a las dos hectáreas, en donde es fundamental aprovechar íntegramente el cafetal para obtener alimentos que contribuyan a la precaria nutrición de la familia, es impresionante la lista de plantas útiles asociadas a los cafetales mexicanos (Sosa *et al.,* 1999*)*.

Factores edafoclimáticos que influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo de café

El conocimiento de las interacciones entre los factores ambientales y la calidad es clave para mejorar la calidad del café en una finca. Clasificar los factores en diferentes grupos puede ayudar a identificar a los que pueden controlables (prácticas agrícolas y procesos de postcosecha) y a los que no son controlables directamente, como los ambientales (Läderach *et al*., 2006).

Clima.

El clima es el resultado de numerosos factores y elementos que actúan conjuntamente en una determinada región. La calidad del café está relacionada con los factores y elementos del clima; entre los factores que más influyen en la calidad están la altitud y la latitud, y los elementos más importantes son temperatura, humedad, precipitación, heladas y vientos (Wintgens, 2004; citado por Escamilla, 2007).

Altitud y latitud.

Un clima adecuado para el café depende de la latitud y la altura sobre el nivel del mar, ya que por cada 100 m de altitud la temperatura disminuye 0.6 °C y se ha documentado ampliamente que la altitud tiene una influencia importante en las características del café (Wintgens, 2004; citado por Escamilla, 2007).

La norma mexicana NMX-F-551-SCFI-2008 establece en sus lineamientos que aquellos cafés cultivados en diferentes altitudes se clasifican como: estrictamente altura (>1200 m.s.n.m.), altura (>900 a 1200 m.s.n.m.), extra prima lavado (800 a 900 m.s.n.m.), prima lavado (600 a 800 m.s.n.m.), buen lavado (250 a 600 m.s.n.m.), aunque no consideran el factor compensatorio de la latitud y otros factores que alteran el clima, los cuales son factores determinantes del ciclo fenológico del café.

Sin embargo, Santoyo *et al*. (1996) mencionan que estas altitudes deben ajustarse y corregirse según las latitudes y las condiciones ambientales específicas. Mientras en México los mejores cafés se ubican entre 900 y 1500 m, en países como Colombia la proximidad a la franja

ecuatorial modifica esta situación, y en sus condiciones los cafés de mejor calidad se ubican a mayores altitudes.

En efecto, la altitud es un factor determinante en la calidad, ya que la mayor altura sobre el nivel del mar incrementa la densidad y dureza de los granos, así como el grado de acidez, aroma, sabor, fineza y cuerpo por lo que los granos y la bebida son más apreciados. En altitudes menores, con temperaturas y humedad más elevadas la maduración es más rápida, lo que ocasiona efectos negativos en el sabor y en las características físicas del grano. Sin embargo, en granos producidos a alturas muy elevadas la acidez tiende a bajar (Regalado, 2006; Escamilla, 2007).

Vertientes

Avelino (2006) reporta el efecto de las vertientes sobre la calidad de la bebida en dos regiones de Costa Rica, Dota hacia el Pacífico y Orosi hacia el Caribe. Las vertientes orientadas hacia el este presentaron generalmente características sensoriales superiores, posiblemente por su mejor exposición al sol matutino. Esta situación debe tener un efecto muy importante sobre la calidad del café en las regiones productoras de México, sobre todo las grandes diferencias ambientales que caracterizan a la vertiente del Golfo (más húmeda) y la del Pacífico (más seca).

Temperatura.

Descroix y Snoeck (2004) mencionan que las especies del género *Coffea* son de naturaleza tropical y subtropical, debido a que no tienen la capacidad de sobrevivir en temperaturas bajo cero. La sensibilidad al frío o al calor varía entre especies: en *C. arabica* la temperatura óptima media oscila de 18 °C en la noche a 22 °C en el día, y las extremas son 15°C por la noche y 25 a 30 °C por el día.

Temperaturas superiores a 25 °C causan reducción de la fotosíntesis, la exposición prolongada a temperaturas arriba de 30 °C produce clorosis de la hoja y flores anormales de tipo “estrella”, así como frutos defectuosos; además, las temperaturas altas favorecen la incidencia de enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) y de plagas como la broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari). En contraste, temperaturas por debajo de 2 °C causan serios

daños al cafeto y pueden llevarlo a la muerte, y ocasionan daños parciales o totales en los granos, que se consideran dañados o helados (Regalado, 2006).

Regalado (2006) menciona que los climas templados, asociados con mayores altitudes, favorecen la calidad, en particular los atributos de acidez y aroma, y en menor intensidad los del cuerpo, lo que en conjunto permite un agradable sabor al paladar. Vaast *et al*. (2004), encontraron que en altitudes mayores, con temperaturas por abajo de 22 ºC la productividad del café se reduce aproximadamente en 20 %, pero esto se puede compensar con la disminución de la alternancia de la producción y los incentivos en mejores precios por la calidad. En contrate, en climas cálidos y húmedos la productividad se incrementa, pero generan una influencia negativa sobre el sabor de la bebida de café.

Martínez *et al*. (2004) y Pérez *et al*. (2005) encontraron en Veracruz que la temperatura influye en la calidad en taza, en aroma y acidez, y proponen una clasificación por calidades: i) A temperaturas mayores a 22 °C se producen cafés de menor calidad; ii) De 19 a 22 °C son cafés de median a calidad; y iii) Con temperaturas menores a 19 °C se obtienen cafés de alta calidad. Estos autores consideran que si bien en varios estudios se señala a la altitud como un factor importante en el comportamiento de ciertos atributos del café, en el contexto ecofisiológico proponen a la temperatura como una variable de mayor confiabilidad en los estudios regionales sobre calidad, en particular cuando se trata de comparar muestras de café de varias regiones del mundo que se encuentran en diferentes latitudes.

Por la naturaleza multifactorial de la calidad no es posible atribuir a la altitud una influencia directa sobre la calidad física y sensorial. Diversos estudios han confirmado que la altitud está relacionada con las temperaturas y los niveles de cobertura arbórea, porque tienen un efecto favorable en el tostado, en el molido y en los atributos sensoriales, particularmente en la acidez y el aroma. También se ha encontrado que el factor altitud no parece desempeñar el mismo papel en todas las variedades de C. arabica (Buenaventura y Castaño, 2002; Martínez *et al*., 2004).

Humedad

La humedad relativa y la lluvia influyen sobre el crecimiento de los cafetos y la incidencia de plagas. El café requiere de lluvias suficientes y con una distribución adecuada durante el año. El periodo de sequía disminuyen la actividad fisiológica de la planta, y si se presenta en forma severa entre la 6ª y 16ª semana después de la fecundación ocasiona una gran cantidad de granos vanos y los frutos que se desarrollen serán de tamaño más pequeño, por lo que la calidad de la cosecha y su valor en el mercado también disminuirán (Santoyo *et al*., 1996; Wintgens, 2004, citado por Escamilla, 2007).

Regalado (2006) reporta que periodos prolongados de sequía provocan desequilibrios en la fisiología del cafeto y producen granos vanos y negros. Descroix y Snoeck (2004) señalan que la humedad atmosférica o humedad relativa (HR) del aire tiene una influencia muy marcada en el comportamiento de los cafetos y la calidad. En el *C. arabica* la HR más adecuada es 60 %, y niveles constantes de 85 % pueden demeritar la calidad.

Heladas y granizo

Las heladas y el granizo dañan las plantas y las cerezas, lo que puede afectar la calidad final del café verde. Ambos elementos del clima tienen una influencia importante en la cantidad y calidad de la cosecha. Las heladas tienen un impacto directo en la producción del año en que se presentan al reducir su valor comercial ya que el tejido del fruto muere y el grano se oscurece. Si son muy severas, pueden afectar la producción de los años subsecuentes al obligar al rejuvenecimiento o renovación de la planta (Santoyo *et al*., 1996; Wintgens, 2004, citado por Escamilla, 2007).

Vientos

Los vientos fuertes como los ciclones o tornados no son convenientes para el cultivo de café, ya que causan defoliaciones o ruptura de las ramas, pero un viento ligero mantiene un buen intercambio gaseoso en el follaje. Este factor debe tenerse muy en cuenta al establecer una plantación, para tomar las precauciones debidas como el uso de protección topográfica, crear barreras rompe viento, y seleccionar plantas de café resistentes a las quebraduras. También es necesario tomar en cuenta a los vientos alisios, brisas de mar o de tierra, pues pueden

causar daños por evapotranspiracion excesiva, manchas en las flores y en frutos cercanos a la madurez, para lo cual es conveniente el uso de árboles de sombra y barreras rompevientos (Descroix y Snoeck, 2004). Avelino (2006) menciona que el clima puede variar de un año para otro, y para el café no se sabe que tanto pueden afectar la calidad las variaciones interanuales de clima.

Suelos

Los estudios sobre la influencia del suelo en la calidad del café son escasos, aunque se considera que las características de textura, profundidad, pH, contenido de materia orgánica y fertilidad del suelo están relacionadas con la cantidad producida y las restricciones en estos aspectos se pueden reflejar en la calidad. A nivel mundial se acepta que los cafés de mayor acidez crecen sobre fértiles suelos volcánicos (Harding *et al*., 1987, citado por Leroy *et al*., 2006).

En cuanto al pH el cafeto prefiere una reacción ligeramente ácida (pH 6-6.5), sin embargo en la mayoría de los suelos de cafetal el pH es menor a 5.5. De aquí que algunos autores señalan que el rango de pH en suelos cafetaleros es de 4.5-5.5 (Carvajal, 1972). Desde el punto de vista físico los suelos deben ser profundos (1 metro de preferencia), permeables, con buena aireación, friables y textura migajón arcilloso (Carvajal, 1972 y Nolasco, 1985).

Según lo menciona Uribe (1993), el valor de materia orgánica en suelos de cafetaleros debe rebasar el 7 %. La materia orgánica acumula grandes reservas de macronutrimentos, hace disponible algunos micronutrimentos para las plantas, (Ruíz, 1999). En síntesis, la materia orgánica favorece las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, como la estructura, aireación, infiltración, capacidad de retención, capacidad de intercambio catiónico, amortiguamiento del pH, alimento microbiano y una fuente importante de nutrimentos para la agricultura; por lo que en suelos con alto contenido de materia orgánica se logran máximos rendimientos (Guzmán, 2004).

Plagas y enfermedades.

Plagas

Broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari)

a. **Descripción biológica.** Insecto considerado como la plaga principal del cultivo, se encuentra en la mayoría de las zonas cafetaleras del país y es causa de pérdidas económicas de consideración. Su ciclo de desarrollo es de 25 a 33 días, desde la puesta de un huevo hasta la salida de la cereza de un adulto; la hembra oviplena puede entrar a varias cerezas y depositar hasta 20 huevos. Una hembra puede tener de 7 a 10 generaciones en un año; por su parte el macho nace, se desarrolla y muere dentro del grano. La broca se reproduce desde que el grano esta semiconsistente. En cada fruto pueden existir de 8 a 10 brocas adultas que ponen cada una de 60 a 70 huevos. Al inicio de las lluvias las hembras salen de los cerezos dejados en la cosecha anterior y se movilizan buscando cerezas consistentes, esta etapa se denomina tránsito y es el momento adecuado para el control (Barrera *et al*., 2008; Sotomayor, 1993).
b. **Descripción del daño.** La larva se alimenta de la semilla desmejorando su calidad y/o causando la caída de la cereza. La broca destruye frutos tiernos, granos maduros, cerezas y almendras. En frutos jóvenes, el insecto perfora los granos que aún se encuentran en estado blando-lechoso. El fruto verde y maduro atacado, pierde peso, aumenta la proporción de café vano en grano verde (más de tres perforaciones en un grano) aumenta considerablemente la mancha pesada (malos sabores en taza) y da mala apariencia al grano, disminuyen los rendimientos de la cosecha y disminuye el precio (Barrera *et al*., 2008; Sotomayor, 1993).

El piojillo de los cojines florales (*Orthezia praelonga* Douglas y *O. insignis* Browne)

a. **Descripción biológica.** Conocidos como escamas blancas móviles, fácil de reconocer a las hembras dado que producen un ovisaco blando, blanco, alargado, con lados rectos. La hembra adulta es de color blanco brillante, mide hasta 12 mm y camina lentamente arrastrando un ovisaco con decenas de huevos, del cual emergen las ninfas que son móviles con filamentos cerosos laterales (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

b. **Descripción del daño.** Las ninfas y los adultos se localizan en los nudos, entre las yemas florales y los frutos en desarrollo; cuando las poblaciones son altas puede causar la necrosis y caída de los botones florales (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Escama articulada (*Selenaspidus articulatus* Morgan)

a. **Descripción biológica.** Insecto de forma plana y circular aparentando un escudo. Presenta una fuerte constricción entre el prosoma y el postsoma (SAGARPA y COFUPRO, 2008).
b. **Descripción del daño.** Ocurre principalmente en el haz de las hojas y en el epicarpio de los frutos verdes. En México no se tiene un control específico, se recomienda realizar el control cultural (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Gorgojo del grano de café (*Araecerus fasciculatus* De Geer)

a. **Descripción biológica.** Esta plaga no es específica del café almacenado, ya que se alimenta de varios productos como cacao, maíz, achiote, arroz, frutas secas, entre otros. El adulto mide de 2.5 a 4.5 mm de largo, tiene cuerpo de forma oval y convexo, las hembras ovipositan en las ranuras de los granos en pergamino o sobre las hendiduras del fruto almacenado en bola, capulín o cerezo. Entre cinco y siete días después nacen las larvas que miden de 5 a 7 mm, al poco tiempo de nacidas empiezan a perforar al grano. La larva muda de piel cinco veces en un lapso aproximado de 55 días y se convierte en pupa, dura así un período de cinco a ocho días, al cabo de los cuales emerge el insecto adulto (SAGARPA y COFUPRO, 2008).
b. **Descripción del daño.** Las larvas perforan el grano haciendo una galería, con estos daños, el café pierde valor (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Hormiga arriera (*Atta cephalotes*)

a. **Descripción biológica.** Los adultos son de color pardo o café rojizos, de cabeza grande y mandíbulas fuertes. Viven en colonias bien organizadas de hasta un millón de individuos en nidos subterráneos. La colonia está compuesta por la reina y las obreras, la reina es la casta reproductiva y las obreras se encargan de la alimentación y cuidados (Sotomayor, 1993).

Las obreras a su vez se dividen en soldados, cortadoras y jardineras. Una colonia potencialmente destructiva puede formarse en el plazo de un año y cuyos individuos pueden estar activos durante el día y la noche, siendo la actividad nocturna la de mayor importancia (Sotomayor, 1993).

b. **Descripción del daño.** Las larvas y obreras se alimentan del hongo *Pholiota* (*Rhozithes*) *gongylophora,* que cultivan en el material vegetal que transportan al nido. En ocasiones dejan las plantas completamente defoliadas, teniendo un efecto negativo inmediato en el proceso de fotosíntesis, la producción de alimento y la formación de frutos (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

Minador de la hoja (*Leucoptera coffella*)

a. **Descripción biológica.** Es una polilla blanca que mide unos 2.5 mm de largo con un penacho blanco, a manera de melena en la cabeza, el macho es más pequeño. Durante el día, están posados en el envés de las hojas y vuelan en tramos cortos cuando se entra al cafetal, la hembra pone en el haz de la hoja grupos de hasta siete huevos durante la noche y llega a poner unos 70 huevos en unas tres semanas, con ocho generaciones en un año (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).
b. **Descripción del daño.** El daño lo causa la larva que consume 1 a 2 cm de área foliar durante todo su estado, por ello es importante regular las podas para reducir las poblaciones de minador (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

Barrenador de tallos tiernos (*Xylosandrus morigerus* Blandford)

a. **Descripción biológica.** Las hembras tardan de 1 a 3 días en romper el tallo y llegar hasta la médula y de 4 a 6 días para construir la cámara e iniciar la postura; a los 10 días ya se pueden ver grupos de huevos (14 a 20) sobre una capa de micelio y 8 días después aparecen las primeras larvas. Las larvas son ápodas y vermiformes, en 10 días se desarrollan y se transforman en pupa, diez días más tarde, se transforma en un imago (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).
b. **Descripción del daño.** Ataca ramas, ramillas, brotes jóvenes y a veces frutos, lo cual impide la circulación de la savia, y ocasiona la muerte de estos. Si la muerte no ocurre,

se reduce el rendimiento por efecto del daño sobre la floración y el desarrollo del fruto. Se manifiesta por la aparición de cogollos marchitos y ramas secas; al observar estas ramas se encuentran agujeros redondeados bien definidos hacia los entrenudos de la parte media (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

Piojo harinoso del follaje (*Planococcus citri* Risso)

a. **Descripción biológica.** La hembra adulta es de forma ovalada, mide de 3 a 4 mm y pone una masa de huevos amarillentos dentro de un ovisaco protegido por una envoltura algodonosa (SAGARPA y COFUPRO, 2008).
b. **Descripción del daño.** Tanto las ninfas como los adultos son móviles, es de los insectos más dañinos en los cafetos, debido a que se localizan sobre los pedúnculos de los frutos en desarrollo, causando el secamiento de todo el nudo (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Gusano monturita (*Sibine* sp.)

a. **Descripción biológica.** En café, *Sibine fusca* es la especie de mayor ocurrencia, ataca las plántulas desde el almácigo. Las larvas son de hábitos gregarios y poseen pelos urticantes. Los adultos son polillas de hábitos nocturnos (SAGARPA y COFUPRO, 2008).
b. **Descripción del daño.** El daño inicial son raspaduras en las hojas y a medida que las larvas crecen consumen la lámina foliar (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Falsos medidores (*Trichoplusia ni* Hubner y *Pseudoplusia includens* Walker)

a. **Descripción biológica.** La polilla hembra oviposita en el envés de la hoja; las larvas son verde claro con líneas blancas longitudinales en el dorso y admesal. La pupa de color verde claro ocurre dentro de un capullo sedoso algo ralo en el envés de las hojas. El adulto es una polilla de color café oscuro bronceado (SAGARPA y COFUPRO, 2008).
b. **Descripción del daño.** La larva causa perforaciones pequeñas en las hojas tiernas, dejando sólo la nervadura central (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Escamas o queresas

a. **Descripción biológica.** Se consideran varios tipos de escamas entre los que destacan: escama verde (*Coccus viridis* Green); escama coma (*Lepidosaphes beckii*); escama globosa (*Saissetia hemisphaerica*); escama algodonosa (*Icerya purchasi*); chinche harinosa (*Pseudococcus* sp.). Son pequeños insectos que viven protegidos por una especie de concha y se encuentran pegadas a los tallos, a las ramas, a las hojas y a los frutos del cafeto (SAGARPA y COFUPRO, 2008).
b. **Descripción del daño.** Al chupar la savia debilitan a la planta, favorece la dispersión de la fumagina, enfermedad que se caracteriza por el cubrimiento de tallos, ramas, flores y frutos con un polvo negro muy fino (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Chacuatete (*Idiarthron subquadratum* Sauss & Pict)

a. **Descripción biológica.** Es un insecto común en la región cafetalera pero carece de importancia económica. Los huevos son alargados y las ninfas y adultos son semejantes a grillos o chapulines. Ninfas y adultos están dotados de fuertes y grandes mandíbulas. Los daños son ocasionados por las mordeduras de las ninfas y adultos de la plaga cuando se alimentan (SAGARPA y COFUPRO, 2008).
b. **Descripción del daño.** Los cafetos atacados muestran lesiones irregulares sobre los bordes de las hojas, también pueden observarse lesiones sobre los brotes tiernos, cogollos y puntas de las ramas; un síntoma más característico es la aparición de frutos verdes y maduros que muestran la pulpa destruida (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Barrenador del tallo del cafeto (*Plagiohammus maculosus* Bates)

a. **Descripción biológica.** Conocidos comúnmente como escarabajos longicornios, que se caracterizan por poseer antenas, al menos tan largas como el cuerpo; presentan el cuerpo alargado y cilíndrico, y patas largas Las larvas son cilíndricas y alargadas, con cabezas redondas y carentes de patas. Los segmentos del cuerpo son constreñidos en forma de tornillo. La mayoría de las larvas taladran el cambium o la parte central del tronco de los árboles (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

b. **Descripción del daño.** La larva barrena o taladra el tronco a nivel del suelo, se ha observado que las plantas afectadas muestran en su base un polvillo o aserrín de color amarillo claro (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

Araña roja (*Oligonychus ilicis* Mc Gregor)

a. **Descripción biológica.** Es una plaga propia de cafetales que se localizan en zonas altas y su severidad está íntimamente ligada a la falta de sombra con prolongados periodos de sequía. Esta plaga está constituida por ácaros muy pequeños, de 0.4 a 0.6 mm, de forma ovalada y de color rojo claro o café rojizo. Está provisto de órganos perforadores que atraviesan la epidermis de las hojas y absorben los jugos celulares. Las hembras depositan de diez a 15 huevecillos; de seis a diez días después eclosionan. La fase adulta ocurre de 11 a 17 días (SAGARPA y COFUPRO, 2008).
b. **Descripción del daño.** Limitan la fotosíntesis de la planta, los daños principalmente son causados en las hojas del cafeto que se ven afectadas al enrollarse (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Palomilla de la raíz (*Dysmicoccus* sp.)

a. **Descripción biológica.** La hembra pone los huevos en un ovisaco del cual emergen las ninfas, las cuales pasan por tres instares antes de alcanzar el estado adulto (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).
b. **Descripción del daño.** Las ninfas y adultos succionan savia de las raíces, y a medida que la población crece se presenta una ligera marchitez y luego clorosis foliar; posteriormente defoliación y muerte del árbol. Estas especies son consideradas las más dañinas, pues causan la muerte de árboles en producción (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

Gallina ciega (*Anómala* sp, *Phyllophaga* sp.)

a. **Descripción biológica.** Ocurren principalmente en los cultivos de clima medio y frío, ponen sus huevos en el suelo, especialmente en aquellos ricos en materia orgánica. Su ciclo biológico es muy largo, aproximadamente un año, durante el cual ocurren 2 períodos de vuelo (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

b. **Descripción del daño.** Consumen raíces de cultivos (figura 81) y coberturas, inicialmente aparecen los arbolitos menores de un año, cloróticos y defoliados; al arrancarlos se observan sus raíces casi totalmente consumidas por las larvas. Los adultos de algunas especies son fitófagos y se alimentan del follaje (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

Nematodos (*Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp.)

a. **Descripción biológica.** Los daños ocasionados por los nematodos en el cultivo del café son de considerable importancia. Los grupos más nocivos se encuentran distribuidos ampliamente en las principales zonas cafetaleras del país, destacándose los del género *Pratylenchus* sp. y *Meloidogyne* sp. (SAGARPA y COFUPRO, 2008).
b. **Descripción del daño.** Estos parásitos provocan el retardo en el crecimiento de las plantas, también favorecen la incidencia de enfermedades de la raíz (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Pulgones (*Toxoptera aurantii* Fonscolombe)

a. **Descripción biológica.** Los pulgones son insectos pequeños, de cuerpo blando y su color puede ser de café oscuro a negro, amarillo pálido a verde oscuro, su cuerpo es de forma ovalada con el abdomen más ancho que el tórax. Poseen un aparato bucal picador-chupador (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).
b. **Descripción del daño.** Los pulgones se congregan en las ramas tiernas, brotes y hojas nuevas, así como en las flores o frutos del cafeto. Por medio de su estilete bucal se alimentan de los jugos celulares, cuando ocurren ataques severos, los brotes tiernos detienen su crecimiento y las hojas se enrollan. Las flores también se deforman y en algunos casos caen (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

Enfermedades

Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome)

a. **Sintomatología.** Manchas o pústulas color amarillo pálido de 1 a 3 mm de diámetro en el envés de las hojas (cara inferior). Llegan a medir más de 2 cm. Después de su aparición, la mancha se cubre de un polvo formado por el hongo. Conforme las manchas se desarrollan, llegan a cubrir hasta el centro de la hoja (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).
b. **Descripción de daños.** En ataques severos aparece una gran cantidad de pústulas en el envés de las hojas. Los cafetos se debilitan y sufren fuertes defoliaciones (caída de hojas); también se reduce mucho su producción, la cual puede llegar a ser nula (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

Ojo de gallo (*Mycena cictricolor*)

a. **Sintomatología.** Aparecen pequeñas manchas circulares de distribución irregular en la cara superior de las hojas. Son de color café oscuro y su centro, claro. Llegan a medir hasta 18mm de diámetro. Su contorno está bien definido y es de color amarillo grisáceo claro. Al llegar a la madurez, emiten numerosos filamentos erguidos de color amarillo azufroso, que terminan en una cabecita piriforme parecidos a un alfiler. Son los fructificaciones del hongo y constituyen los cuerpos de infección y propagación (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).
b. **Descripción de daños.** Reduce la capacidad de fotosíntesis de la planta y provoca la caída de las hojas. Lo que debilita los cafetos y afecta nuestra producción. También ataca a los frutos. Provoca su caída y afecta la calidad del producto (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

Mal de hilachas (*Corticium koleroga* Cooke)

a. **Sintomatología.** La infección se presenta en tallos jóvenes, ramas, hojas y cerezas. El ataque se inicia en la parte inferior de las ramas y avanza de la base hacia la punta en forma de hilos o cordones finos, hasta llegar a las hojas en donde se ramifica abundantemente en el envés, llega a cubrir la totalidad de la superficie foliar donde toma

apariencia de una película blanquecina y semitransparente, del cual emergen los tubos alimenticios o haustorios que penetran en la epidermis de la hoja para succionar los jugos celulares. Las hojas se marchitan, oscurecen, secan y finalmente se desprenden de las ramas, pero quedan colgando (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

b. **Descripción de daños.** El hongo invade las ramas tiernas, las hojas y frutos, en ataques intensos se observa un crecido número de ramas, hojas y cerezas secas, los cafetos se defolian intensamente y su producción es casi nula (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

Pudrición radicular del cafeto (*Rosellinia* sp.)

a. **Sintomatología.** Marchitez en la parte aérea del cafeto y amarillamiento del follaje. Una coloración negra en las raíces de los cafetos muertos. Una coloración blanca y grietas en la corteza (al desprenderla se pueden observar puntos negros constituidos por las formaciones miceliales). Una coloración negra en las raíces secundarias y terciarias (como si estuvieran cubiertas por polvo de carbón) (SAGARPA y COFUPRO, 2008).
b. **Descripción del daño.** Esta enfermedad ataca tanto a plantaciones jóvenes como adultas. Marchita y amarilla el follaje. Defolia y seca los cafetos (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Requemo o derrite (*Phoma costarricensis* Ech.)

a. **Sintomatología.** Una mancha café oscura, casi negra, en los tallos, que avanza rápidamente hasta llegar a los tejidos lignificados. Se detiene el crecimiento del cafeto. El tejido infectado se marchita y adquiere una coloración negra (como si estuviera quemado). Manchas, tanto en el ápice de las hojas, como en los bordes; redondas y de color café claro que se van oscureciendo. La parte foliar afectada se marchita y arruga, lo que hace que la hoja se curve hacia el lado donde se localiza la lesión (SAGARPA y COFUPRO, 2008).
b. **Descripción de daños.** La enfermedad causa la muerte de la región apical, frenando drásticamente el crecimiento de los cafetos reduciendo su productividad. En recepas los brotes pueden morir en ataques severos, ocasionando la pérdida total o parcial (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Damping off (*Rhizoctonia* sp., *Pellicularia filamentosa*, *Fusarium* sp.)

a. **Sintomatología.** Presencia de estrangulamiento a nivel del cuello de la plántula afectada. Se presenta una pudrición de la corteza provocada por el desarrollo del micelio del hongo en el interior del tejido. La zona se vuelve necrótica hundida, de color oscuro y aspecto rugoso en la base del tallo y se extiende rápidamente hasta cubrirlo completamente. Ocurre después la paralización de la circulación de la savia, dando lugar al marchitamiento y volcamiento de las plántulas enfermas (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).
b. **Descripción de daños.** Enfermedad en los semilleros de café que llega a producir hasta 75 % de mortalidad en plántulas. Llega afectar plántulas en estado de fosforo o soldadito incluso en estado de cotiledones extendidos y mariposa (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Sotomayor, 1993).

Mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* Berk & Cook.)

Sintomatología. Se presenta sobre todo en viveros, y en plantas con deficiencia de nitrógeno. Los síntomas son manchas foliares de color café, rodeadas por un halo amarillento, que da la apariencia de ser una quemadura, también llega afectar a las cerezas cuando están verdes (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Descripción de daños. Se presenta generalmente en plántulas de semilleros y veros con poca sombra y en sustratos preparados sin la adición de materia orgánica descompuesta. Provoca una rápida defoliación y un debilitamiento general hasta la muerte incluso de las plántulas. Tiene presencia en cafetales adultos que no han sido fertilizados o abonados abundantemente y establecidos a plena exposición solar. Afecta en estos casos tanto a hojas como a frutos (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Los Cafés Diferenciados.

Pérez (2000) menciona que aun y cuando el café está estrechamente ligado al mercado (como cultivo y producto) y los pequeños productores hayan sufrido de manera impetuosa los efectos del libre mercado, la sobreoferta de café convencional (por parte de Brasil y Viet Nam), la especulación en la comercialización y la concentración del capital; el impulso y desarrollo de alternativas entorno al cultivo, es la pauta parar poder superar la situación desfavorable y seguir aprovechando al café como eje de desarrollo comunitario y regional. En contraposición al mercado mundial (grandes volúmenes y precios muy bajos de café), se ha incrementado la demanda por los cafés de calidad, lo cual ha dado surgimiento al mercado de cafés diferenciados o especiales (pequeños volúmenes y precios elevados); a partir de ello, la calidad se ha convertido en un factor de gran importancia y ha permitido el alcance de precios más atractivos para los productores; además de qué, es un mercado en expansión que exige calidad, con preferencia asociada a los principios de sustentabilidad ecológica (Amos, 2002; citado por Escamilla, 2007). El café especial es un producto originario de un ambiente de producción muy particular que es inherente en la expresión de calidad según lo menciona Läderach *et al*. (2006).

Por otro lado Martínez *et al*. (2006); Bode *et al*. (2006) consideran la definición de café de especialidad en base a los criterios de la Asociación de Cafés Especiales de América (SCAA), que incluye tanto a cafés gourmet, como cafés de origen y cafés certificados (comercio justo, orgánico, bajo sombra, biodinámicos, sustentables, entre otros.) En la actualidad existe una creciente importancia por los atributos simbólicos en los cafés de especialidad, especialmente aquellos con sellos ecológicos, sociales, indicaciones geográficas (Escamilla, 2007). Avelino (2006, citado por Escamilla, 2007) afirma que los primeros cafés especiales fueron los de origen y que actualmente más de 24 millones de personas consumen diariamente cafés especiales. Castro *et al*. (2004, citados por Escamilla 2007), estimaron que el crecimiento del consumo anual de los cafés especiales fue del 5 al 10 %. Por otro lado, Córdova (2006) reportó que la tasa de crecimiento para los cafés genéricos fue de 1.5 %, en cambio para los cafés gourmet fueron entre 5-10 %; para los orgánicos entre 15-20 %, de comercio justo entre 10-15 %; al respecto, los cafés orgánicos y de comercio justo son los líderes en el aumento de los

cafés de especialidad, siendo que Pohlan (2006) menciona que México, Perú y Centroamérica son líderes como productores de estos cafés sostenibles.

Situación de la Agricultura Orgánica y Producción de Café Orgánico en México.

La producción de agricultura orgánica en su mayoría está conformada por la participación de pequeños productores agrupados en organizaciones y en menor proporción se ubican medianos y grandes productores que buscan opciones que les permitan obtener mejores ingresos. Uno de los grandes mitos de la producción orgánica, es el supuesto de que al dejar de utilizar insumos de síntesis química (fertilizantes y pesticidas) se reducen los rendimientos, eso no necesariamente es cierto ya que es posible obtener rendimientos mayores que en la producción convencional cuando se logran concretizar esfuerzos colectivos para cubrir las necesidades de formación y capacitación. Uno de los rasgos distintivos más importantes de la producción orgánica de México es que se sostiene fundamentalmente por pequeños productores organizados y de origen indígena, pero la característica más notoria de los últimos años es que dicha tendencia se consolida (Gómez *et al*., 2010).

Por otra parte, la creciente crisis en el campo, que ha generado un aumento en los índices de pobreza y la migración de la población mayoritariamente masculina, ha obligado al sector femenino a cuidar y trabajar la parcela cuando disponen de ésta, o bien, a emplearse como jornaleras. La incorporación de la mujer en los diferentes ámbitos ha aumentado considerablemente en los últimos años. En la producción orgánica, no es la excepción, particularmente en la producción de café, donde comúnmente participa toda la familia. En el total de las unidades de producción de café orgánico certificado se ha identificado la presencia de personas de la tercera edad y mujeres campesinas e indígenas (Gómez *et al*., 2010).

En México han tenido éxito el café orgánico y el comercio justo certificado. En este concepto de calidad se exigen respeto al medio ambiente y a la salud de los consumidores (Renard, 2006). Sosa *et al*. (2004) mencionan que un producto orgánico, ecológico o biológico, es aquel cuyo cultivo no utiliza agroquímicos sintéticos, no genera ninguna forma de contaminación ambiental e involucra una serie de prácticas ligadas a la conservación de los recursos naturales (conservación de la biodiversidad, suelo y agua).

Los mismos autores señalan que la producción orgánica se ha desarrollado en el paradigma de la agricultura sustentable, partiendo del principio de "satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de responder a sus propias necesidades". Esta es una concepción integral que se promueve como marcadora del rumbo hacia donde debe dirigirse la humanidad en su lucha por la sobrevivencia, en armonía con la naturaleza y con que considera los siguientes postulados:

- **a.** Satisfacer las necesidades humanas fundamentales, en particular de los pequeños productores de café, con alta participación de población indígena.
- **b.** Ecológicamente sana, es decir, respetando y mejorando el ambiente a través de buscar técnicas de producción en armonía y equilibrio con la naturaleza, evitando la destrucción de los recursos naturales, en especial de las áreas tropicales y subtropicales.
- **c.** Económicamente viable y rentable a largo plazo. Que realmente sea una estrategia económica que permita mejorar el ingreso del productor, a través del sobreprecio que se paga por el café orgánico.
- **d.** Socialmente justa y humana, mejorando la calidad de vida de los productores y de la sociedad en general.

México se ubica entre los 15 mayores productores de alimentos orgánicos en el mundo y el crecimiento de la agricultura orgánica se ha caracterizado por su dinamismo en los últimos años. En 1996 ocupaba alrededor de 23 000 ha, en el año 2000 había superado las 100 000 ha, y para el año 2003 se estimaba había alcanzado las 205 000 ha. A principios de Noviembre de 2004, la agricultura orgánica se desarrollaba en más de 400 000 ha cultivadas por más de 100 mil productores. El 85 % de la producción orgánica se destina al mercado de exportación que representa más de 200 millones de dólares anuales, con una importante tendencia al incremento de la superficie cultivada (Gómez *et al*., 2010)

El segmento orgánico, a diferencia de otros sectores agropecuarios, ha crecido incluso en medio de la crisis, por ejemplo, el café orgánico, producto en el que México se ubica como el principal exportador del mundo. La superficie agrícola de cultivos orgánicos en México registró un acelerado incremento; en un período de apenas 12 años pasó de 21,265 hectáreas en 1996 a 378,693 hectáreas en 2008 y 512,246 hectáreas en 2012. Por su parte, el número de

productores dedicados a estos cultivos aumentó casi 10 veces, al pasar de 13,176 a 128,862 productores en 2008 y a 169,570 en 2012 (Gómez *et al*., 2013).

México ocupa el tercer lugar mundial por número de productores orgánicos (129 mil), cultiva una superficie cercana a las 500 mil hectáreas, genera 400 millones de dólares en divisas y 172 mil empleos. Más del 80 % de la producción se exporta a Estados Unidos, muchos países europeos y Japón. En el mercado nacional es posible encontrar a los productos orgánicos en algunos supermercados, tiendas especializadas, tiendas naturistas, hoteles, y en los 28 mercados y tianguis orgánicos que existen (Gómez *et al*., 2013).

En México operan más de 15 agencias de certificación internacional. Siendo CERTIMEX la única agencia mexicana con reconocimiento y acreditación en los mercados de Estados Unidos, Canadá, Unión Europea y Japón, en la actualidad reporta la certificación de café, ajonjolí, amaranto, Jamaica, hortalizas, mango, aguacate, arándano, jugo de naranja, jarabe de agave, miel, mezcal, leche y derivados de leche, etc., producidos en 20 estados del país, con una mayor producción en los estados de Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Yucatán, Quintana Roo, Jalisco, Guanajuato y Nuevo León (Gómez *et al*., 2013).

Entre los retos que enfrenta la actividad se tiene la carencia de una política integral y de fomento, un marco normativo incompleto, limitada formación de cuadros técnicos y baja transferencia de tecnología, falta de apoyos para la transición, infraestructura, comercialización y para el acopio de la producción, así como la falta de promoción y desarrollo del mercado nacional (Gómez *et al*., 2013).

El cambio climático y sus repercusiones en el cultivo del café.

El cambio climático que se espera en el transcurso del siglo XXI puede generar alteraciones en la fenología, distribución, producción y calidad de diferentes cultivos agrícolas, incluyendo al cafeto; debido a que, la variabilidad del clima es el principal factor responsable de las oscilaciones anuales de la producción de este cultivo, principalmente en lo que respecta a cambios en la humedad del suelo y de la atmósfera circundante a la plantación (Fournier y DiStefano, 2004; Rivera *et al*., 2013).

Por ejemplo en Kenia para el año 2050; según estimaciones de Haggar y Schepp (2011), las zonas cafetaleras con altitudes alrededor de 1200 m.s.n.m. sufrirán una disminución en la producción, a causa de la disminución de la precipitación del mes más seco y el incremento de la temperatura en el mes más frío. Mientras que para Brasil; Haggar y Schepp (2012) estimaron que para los años 2020, 2050 y 2070 el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) perderá hasta un 33 % de la superficie cultivada actualmente. Los países de Centroamérica no son la excepción, Nicaragua, El Salvador, Guatemala y México, según estimaciones de la ASIC (2012) para el año 2050 las zonas cafetaleras de estos países podrían perder entre el 20 y 81 % de su producción actual.

Particularmente en México; Gay *et al*. (2004) estimaron que a mitad del siglo XXI se espera una reducción de entre 22 y 27 % de la productividad de café debido al incremento de la temperatura y la reducción de la precipitación en el estado de Veracruz; mientras que Schroth *et al*. (2009) por su parte obtuvieron como resultado de sus investigaciones el pronóstico de una fuerte disminución en el hábitat para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la Sierra Madre de Chiapas para el año 2050.

Pérez y Geissert (2006) mencionan que las temperaturas extremas del aire, menores a 4 °C ocasionan el amarillamiento de hojas, muerte de tejidos y brotes, mientras que temperaturas mayores a 30 °C reducen la fotosíntesis y provocan el aborto de flores, lo que resulta finalmente en una pérdida de la cosecha, reduciéndose así la productividad del cultivo. Camargo (2010), menciona que el estrés hídrico ve limitado el proceso de la fotosíntesis, debido al cierre de estomas y la reducción de las actividades fisiológicas de la planta. Villers *et al*. (2009) encontraron que para las condiciones de Huatusco, Veracruz, el cambio de temperatura del aire puede alterar el inicio de la floración y el cambio de las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento del fruto, afectando significativamente el rendimiento de café (*Coffea arabica* L.).

Países como Colombia, Brasil, Perú, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y México, ya han visto como las nuevas condiciones climáticas han reducido su producción. Como gran elemento común entre estas naciones destaca el cultivo de variedades arábicas, las más vulnerables al cambio climático; ante esto, la sustitución progresiva de los

cafetos por variedades robustas o bien adaptables al cambio climático, traerá consigo consecuencias sobre la producción y calidad del producto (CEPAL, 2014).

Además, las zonas productoras de café se caracterizan por estar ubicadas en regiones montañosas, con probabilidad moderada y alta de que se presenten deslizamientos de suelo y avenidas súbitas; debido a que, el cambio climático está teniendo impacto en las temporadas de huracanes y ciclones, por lo que, tormentas más intensas tienen lugar con mayor frecuencia. A su vez, esto que trae consigo problemas de degradación física y química de los suelos (erosión, lixiviación de nutrientes y acidificación) (Zetina *et al*., 2002), menos espacio para la producción de café y la proliferación, dispersión y aumento más común de plagas y enfermedades de importancia económica para el cultivo del café.

Botello (2013) menciona de acuerdo a los registros de SMN en el periodo de 1949 al 2013, que en el Pacífico Sur Mexicano (comprendido desde el estado de Chiapas a Colima) se han registrado 117 fenómenos hidrometeorológicos, lo que indica un gran aporte de lluvias, ello explica la lixiviación y la creciente pérdida de nutrimentos para los cultivos, así como el fenómeno de acidez del suelo, principalmente en las zonas cafetaleras de la vertiente del pacifico. Debido a que los fenómenos hidrometeorológicos generan precipitaciones muy intensas, es fácil que se produzca la lixiviación de algunos de los nutrimentos del suelo y otros efectos como la erosión. De manera general, los niveles presentes en el suelo de nutrientes como el N, P y K se ven afectados; así como, de las bases intercambiables (Ca, Mg) debido a su facilidad de perderse por efecto de las elevadas precipitaciones; de igual forma, se ven afectados los valores de pH y CIC del suelo.

La roya del café (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome)

Origen y distribución

La roya anaranjada del café fue reportada por primera vez a principios de 1869 en una plantación de Ceilán (Sri Lanka). La repentina aparición de la enfermedad y su rápida expansión en una región tan alejada de los centros de origen y de diversificación del cafeto, localizados en África central y África oriental, desataron una gran polémica sobre el origen de ésta. Lo esperado hubiera sido que el hongo se detectara primero en África, pues los centros

de origen de un hospedero y sus patógenos suelen coincidir. Esta existencia entre la planta y el hongo conducen normalmente a una coevolución de ambos, la cual se traduce por la expresión de una gran variabilidad genética en cuanto a la resistencia de la planta hacia el hongo y en cuanto a la virulencia del hongo hacia la planta (Bertrand y Rapidel, 1999).

Antes de la llegada de la roya a Ceilán, esta isla era el primer productor mundial de café. La enfermedad tardó en llegar a África occidental, y fue en 1966 cuando se detectó en Angola; posteriormente a su llegada a Brasil en 1970, pasaron veinte años para que se hiciera presente en todos los países latinoamericanos (1979 en El Salvador; 1980 en Honduras y Guatemala, 1981 en México y 1983 en Costa Rica). Lamentablemente, para 1986, cuatro estados productores de café en México; Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Puebla, ya estaban afectados por la roya anaranjada (Bertrand y Rapidel, 1999).

De acuerdo a la EPPO (2013), la roya del café encuentra distribuida en la mayoría de los países productores del mundo como se enlista en el cuadro 2.

CUADRO 2. Países con presencia de la roya del café.

Continente	Países
Asia	Bangladesh, Camboya, China, India, Indonesia, Laos, Malasia, Myanmar, Singapur, Sri Lanka, Taiwán, Tailandia, Vietnam. Yemen.
África	Angola, Benín, Burundi, Cameron, Comoras, Congo, Costa de Marfil, Etiopía, Ghana, Guinea, Isla Reunión, Kenia, Liberia, Madagascar, Malawi, Mauritania, Mozambique, Nigeria, República Centroafricana, República Democrática del Congo, Ruanda, Santo Tomé y Príncipe, Sierra Leona, Somalia, Sudáfrica, Sudan, Tanzania, Togo, Uganda, Zambia y Zimbabue.
América	Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Paraguay, Perú, Puerto Rico, República Dominicana, Venezuela.
Oceanía	Islas Cook, Nueva Caledonia, Papúa Nueva Guinea, Polinesia Francesa, República de Fiyi, Samoa, Samoa Americana, Vanuatu.

Sintomatología y comportamiento de la roya del café.

La roya anaranjada es un parásito obligado que afecta las hojas (vivas) de las especies del género Coffea incluyendo la sección de los *Paracoffea* que contiene el género *Psilanthus*. De las especies cultivadas, C. arabica es la más atacada. Los primeros síntomas de la enfermedad aparecen en la cara inferior de las hojas, por donde penetra el hongo. Estos consisten en pequeñas lesiones amarillentas que con el tiempo se vuelven coalescentes y producen las uredosporas con su color anaranjado característico. En la cara superior de las hojas se divisan manchas cloróticas. Finalmente, las lesiones se vuelven necróticas y secan la hoja (Bertrand y Rapidel, 1999).

Los síntomas inician como pequeñas manchas de 1 - 3 mm, traslucidas y de color amarillo claro. La lesión crece en tamaño y pueden calecer con otras manchas, hasta formar grandes parches con abundante polvo amarillo (esporas) en el envés de las hojas y que en su lado opuesto se observan como manchas amarillas. Las lesiones viejas se necrosan, pero la esporulación puede continuar en el margen de las lesión. Los daños severos, mayores al 60 %, pueden causar defoliación. Si la infección ocurre en etapas tempranas se puede presentar una reducción en el rendimiento. Sin embargo, si la infección se presenta en etapas tardías el efecto se observará en los niveles de amarre de fruto del siguiente ciclo de cultivo, eso será el caso de México (SENASICA, 2013 a).

Las condiciones que favorecen el desarrollo de la roya del café son las siguientes: humedad, temperatura (16 a 28 °C), sombra excesiva, baja iluminación del cultivo, la carga fructífera de la planta, desbalance nutricional de la planta, origen incierto de la planta, densidades de población elevadas y el control ineficiente de malezas. El hongo se disemina por diferentes medios: el viento, la lluvia, los insectos, el hombre al momento de la cosecha, entre otros (SENASICA, 2013 a).

En el cuadro 3 se muestran los requerimientos ambientales idóneos del patógeno *H. vastatrix* y el tiempo que duran sus periodos de desarrollo.

CUADRO 3. Requerimientos ambientales para el desarrollo de *H. vastatrix*.[6]

Evento patogénesis	Deposición Germinación	Infección Colonización	Clorosis Multiplicación	Liberación de inoculo Multiplicación
Periodo patogénesis	Penetración	1er síntoma visual	Inicio de esporulación	Finaliza la esporulación
	Incubación			
	Latencia		Generación	
Condiciones favorables	Germinación	22°, sin radiación solar, mojado foliar de 7 h	Latencia	17 – 25 °C
	Incubación	19 – 26 °C	Generación	17 – 26 °C
Tiempo de ocurrencia	Germinación	1 – 5 h	Latencia	26 – 50 días
	Incubación	17 – 42 días	Generación	26 – 62 días
Hoja	Germinación	Hoja nueva (0 -20 días)	Latencia	30 – 60 días
	Incubación	0 – 30 días	Generación	40 – 80 días

Políticas y programas de gobierno para el control de la roya en México.

La roya del café (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) es una de las enfermedades que causa mayores pérdidas en el rendimiento. Para su control se han considerado una serie de estrategias, como aplicaciones químicas, la resistencia genética, el manejo biológico, el control cultural y el manejo integrado. El control químico aparentemente ha sido el más eficaz para el manejo de la roya; sin embargo, la contaminación del ambiente, así como el alto costo de las aplicaciones, el riesgo para la salud de quien aplica los productos y el riesgo de una selección de cepas resistentes a los productos ha provocado que esta estrategia no se considere como la solución ideal para resolver el problema (Romero, 2010).

[6] FUENTE: Calderón, 2012; citado por SENASICA, 2013 a.

Las estrategias trazadas por SAGARPA y SENASICA en combate de la roya del café, en cuyo caso, se mantiene como una problemática a nivel nacional que se encuentra dispersa en los principales estados productores del sur del país, mantiene una postura de asistencialismo, siendo la forma más sencilla de combatir el problema, el reparto de dinero o insumos por medio de los programas PROAGRO productivo (antes PROCAMPO) y PROCAFE.

En teoría las acciones emprendidas por SENASICA en el 2015 para afrontar el problema de roya del café, son las siguientes: podas, deshije, control de malezas, manejo de árboles de sombra, fertilización en cafetales orgánicos o tradicionales con la mezcla 18-12-06 (N-P-K) a partir de análisis de suelos, control químico con la aplicación de fungicidas de forma preventiva principalmente oxicloruro de cobre, óxido cruposo, hidróxido de hierro y sulfato de cobre (formulado como caldo bordelés) (SENASICA, 2013 b).

Estas acciones quedan muy lejos de la realidad, puesto que en primer lugar la asesoría técnica queda a deber. La falta de asesores altamente capacitados y comprometidos por ejercer la enseñanza acerca del cultivo para con los productores queda limitada y en muchos casos ni siquiera existe en las comunidades cafetaleras como la mencionada en el presente trabajo. Además, los paquetes tecnológicos (cuadro 4) que se proponen no representan las necesidades de los productores, los insumos que se manejan, así como, sus cantidades están muy lejos de mitigar la problemática.

CUADRO 4. Paquete tecnológico para el combate de la roya del café por ha.[7]

Concepto	Unidad	Precio
Oxicloruro de cobre (fungicida de contacto)	kg	180
Cyproconazole (Alto 100 SL, fungicida sistémico)	L	1,200
Fertilizante foliar	L	500
Herramienta de poda	Pieza	320
	Total	**2,200**

La instalación de grandes viveros en las zonas cafetaleras para la producción de plantas “resistentes a la roya” de variedades Oro azteca, Colombia, Costa rica 95, Geisha, entre otras, no ha resuelto el problema. La falta de personal calificado o bien entrenado para el manejo de

[7] Fuente: SAGARPA (2015). Cada productor tiene derecho como máximo de apoyo el equivalente para 3 ha.

estos viveros es poca, los insumos utilizados para la nutrición de plántulas de café, en algunos casos ni siquiera es la adecuada, lo que provoca que se produzcan plantas mal nutridas y propensas al ataque de enfermedades como el damping off y la mancha de hierro reduciendo así la cantidad y calidad de plantas para el establecimiento en campo. En algunos otros casos por la mala calidad de la planta, no se logra el desarrollo de una buena plantación, debido a que los cafetos mueren al poco tiempo de ser trasplantados.

La Agroecología y Sus Principios.

La agroecología es la ciencia y la aplicación práctica de conceptos y principios ecológicos al estudio, el diseño y la gestión de las interacciones ecológicas en los sistemas agropecuarios (por ejemplo, las relaciones entre elementos bióticos y abióticos). Este enfoque sistémico integral en materia de desarrollo de los sistemas agropecuarios y alimentarios se basa en muy diversas técnicas, prácticas e innovaciones, que incluyen los conocimientos locales y tradicionales además de los de la ciencia moderna (FAO, 2014).

Una alternativa agroecológica es cualquier sistema agropecuario con un enfoque principalmente ecológico. De hecho, tanto el diseño como el conocimiento de los ecosistemas agrícolas se basan en principios agroecológicos. (FAO, 2014).

Altieri (2009) menciona al menos seis principios agroecológicos que son: 1) diversificación vegetal y animal a nivel de especies o genética en tiempo y en espacio; 2) reciclaje de nutrientes y materia orgánica, optimización de la disponibilidad y balances del flujo de nutrientes; 3) Provisión de condiciones edáficas óptimas para crecimiento de cultivos manejando materia orgánica y estimulando biología del suelo; 4) minimización de pérdidas de suelo y agua manteniendo cobertura del suelo, controlando la erosión y manejando el microclima; 5) minimización de pérdidas por insectos, patógenos y malezas mediante medidas preventivas y estímulo de fauna benéfica, antagonistas, alelopatía, entre otros, y 6) explotación de sinergias que emergen de interacciones planta-planta, plantas-animales y animales-animales.

Estos principios pueden tomar diversas formas tecnológicas de acuerdo a las condiciones ambientales y socio-económicos imperantes y cada una de ellas puede tener un efecto diferente sobre la productividad, estabilidad y resiliencia dentro de cada finca dependiendo de las oportunidades locales, la disponibilidad de recursos y, en muchos casos, del mercado. A nivel mundial, está emergiendo en forma creciente un consenso en cuanto a la necesidad de nuevas estrategias de desarrollo agrícola para asegurar una producción estable de alimentos y que sea acorde con la calidad ambiental, de tal manera, que se alcance una agricultura ecológicamente íntegra, socialmente justa, culturalmente diversa y económicamente viable (Altieri, 2009).

Los niveles de integración y diversificación en agroecosistemas pueden ser los siguientes: la mezcla de cultivos anuales (policultivos y rotaciones), la incorporación de árboles frutales y/o forestales (sistemas agroforestales), la incorporación de animales (ganado mixto, mezclas cultivo-ganado, etc.), la integración de piscicultura (estanques de peces, etc.), la incorporación de vegetación de apoyo (abono verde, mulch, plantas medicinales, etc.) y la incorporación de diversidad genética (multilíneas, mezclas de variedades o razas, etc.). Así mismo las complementariedades en los agroecosistemas son: la exploración por raíces de diferentes profundidades en el perfil del suelo, la utilización diferencial de nutrientes y humedad, la utilización diferencial de intensidades de luz y humedad del aire, la adaptabilidad diferencial a heterogeneidad edáfica y microclimática y, la susceptibilidad y/o tolerancia diferencial a plagas, enfermedades y malezas (Altieri, 2009).

También se deben de distinguir las sinergias en los agroecosistemas por medio de las cuales podemos sacar el máximo provecho a partir de las interacciones de quienes conformen el sistema. Entre las sinergias mencionadas por Altieri (2009) están: la creación de microclimas favorables o desfavorables, la producción de sustancias químicas para estimular componentes deseados y suprimir componentes indeseables (sustancias aleloquímicas, repelentes, etc.), la producción y movilización de nutrientes (micorrizas, fijación de N, etc.), la producción de biomasa para alimento, abono verde o mulch, la raíces profundas que recuperan y reciclan nutrientes, la provisión de cobertura de suelo para conservación de suelo y agua, la promoción de insectos benéficos y antagonistas mediante adición de diversidad y materia orgánica y, la promoción de biología del suelo por adición de materia orgánica, excreciones radiculares, etc.

La Agricultura Orgánica y Sus Principios.

La agricultura orgánica es un sistema de producción que mantiene la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Se basa en los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones locales, en lugar del uso de insumos con efectos adversos. La agricultura orgánica combina tradición, innovación y ciencia para beneficiar el ambiente compartido y promover relaciones justas y una buena calidad de vida para todos los involucrados (IFOAM, 2014). Los principios están compuestos como principios éticos interconectados para inspirar el movimiento orgánico en toda su diversidad y guían nuestro desarrollo de posiciones políticas, programas y normas (IFOAM, 2014).

Principio de la salud

Este principio señala que la salud de los individuos y las comunidades no se puede separar de la salud de los ecosistemas-suelos. La inmunidad, resiliencia y regeneración son las características clave de la salud. En particular, la agricultura orgánica tiene por objeto producir alta calidad, alimentos nutritivos que contribuyen a la prevención sanitaria y el bienestar. Es así que se debe evitar el uso de fertilizantes, pesticidas, medicamentos veterinarios que puedan tener efectos adversos para la salud (IFOAM, 2014).

Principio de ecología

La agricultura orgánica debe estar basada en sistemas y ciclos ecológicos vivos, trabajar con ellos, emularlos y ayudar a sostenerlos. Establece que la producción se basará en los procesos ecológicos y el reciclaje. La nutrición y el bienestar se logran a través de la ecología del entorno de producción específico. La agricultura ecológica, los sistemas de pastoreo y de recolección silvestre debe encajar los ciclos y equilibrios ecológicos de la naturaleza. Estos ciclos son universales pero su funcionamiento es específico del sitio. El manejo orgánico debe adaptarse a las condiciones locales, la ecología, la cultura y la escala (IFOAM, 2014).

Principio de imparcialidad

Este principio pone de relieve que las personas involucradas en la agricultura orgánica deben conducir las relaciones humanas de una manera que garantiza la equidad en todos los niveles y para todas las partes: los agricultores, trabajadores, procesadores, distribuidores, comerciantes y consumidores. Su objetivo es producir un suministro suficiente de alimentos de buena calidad y otros productos (IFOAM, 2014).

Principio de Cuidado

La agricultura orgánica debe ser gestionada de una manera responsable con precaución para proteger la salud y el bienestar de las generaciones actuales y futuras y el medio ambiente. Este principio establece que la precaución y la responsabilidad son elementos clave en la agricultura orgánica (IFOAM, 2014).

El manejo integrado de enfermedades.

Con respecto al control de las enfermedades en general, desde hace algunos años, los fitopatólogos se han percatado, que las enfermedades de las plantas son más frecuentes en los sistemas de cultivos (agroecosistemas) que en los ecosistemas naturales. Esta observación ha conducido a la conclusión que las enfermedades epidémicas son el resultado de la interferencia humana en el balance de la naturaleza (Altieri, 1999; citado por Mónaco, 2014).

Para combatir las enfermedades, bajo el enfoque predominante de la agricultura moderna, el agricultor es altamente dependiente de los plaguicidas químicos sintéticos. El empleo masivo y generalizado de estos plaguicidas durante décadas, ha provocado problemas de toxicidad para el hombre y los animales, la eliminación de fauna benéfica, una reducción de la biodiversidad natural, resistencia de organismos nocivos y la contaminación de los alimentos y el medio ambiente. Cabe recordar que las condiciones necesarias para el desarrollo de una enfermedad son una cepa virulenta de un agente patógeno (hongo, bacteria o virus), un huésped susceptible (cultivo) a esta cepa que se distribuye ampliamente en una región y condiciones favorables para que se establezca la interacción planta-patógeno (Mónaco, 2014).

La enfermedad no se generará a no ser que exista un agente patógeno activo, un huésped apropiado y condiciones ambientales adecuadas para la infección, colonización y reproducción. En este sentido, la intensificación de la agricultura incluye varias prácticas que favorecen la enfermedad de las plantas, como son la expansión de los predios cultivados (en el tiempo y el espacio), el aumento en la densidad de los cultivos hospedantes, la disminución de la diversidad de especies, el aumento de los patrones de corta rotación y de monocultivo y el uso de fertilizantes, riego y otras modificaciones ambientales del cultivo. En general, las enfermedades se han controlado y se controlan con altas dosis y frecuencias de aplicación de fungicidas sintéticos, eliminando una gran cantidad de especies fúngicas, la mayoría de ellas saprófitas. Esta eliminación provoca un "vacío" y un riesgo de reinvasión por parte de los patógenos ante la pérdida del efecto amortiguador que le opone la flora saprobia (Mónaco, 2014).

Las características de autorregulación inherentes a las comunidades naturales se pierden cuando el hombre las modifica, destruyendo el frágil equilibrio de sus interacciones. Esto puede ser reparado mediante el restablecimiento de los elementos homeostáticos de la comunidad a través de la adición o promoción de niveles adecuados de biodiversidad funcional. El propósito del control de la enfermedad es prevenir que el daño de ésta sobrepase aquel nivel donde las utilidades o el rendimiento requerido sean reducidos significativamente (Mónaco, 2014).

Durante mucho tiempo ha prevalecido el concepto de "control de enfermedades", que involucra la aplicación de medidas tendientes a erradicar al organismo causal siendo, por lo tanto, sólo aplicable a un número limitado de situaciones. En los últimos años, este concepto ha sido reemplazado por el de "manejo de enfermedades", que implica un proceso continuo de eventos consistentes en la selección y uso de técnicas orientadas a reducir las enfermedades a un nivel tolerable (Apple, 1977; citado por Mónaco, 2014). El manejo de enfermedades trata de regular a los organismos fitopatógenos y no de erradicarlos, y su concepto está estrechamente ligado al de "umbral de daño económico", definido como: el valor de enfermedad en el cual la pérdida ocasionada equivale al costo de aplicación del fungicida. En el manejo integrado de enfermedades, además de aplicar todas las medidas disponibles, se toma en consideración la "sustentabilidad ecológica". El término manejo da idea de conducción, de gobierno, pensando en disminuir la enfermedad por debajo del nivel económico. Es un proceso continuo que

considera a las enfermedades como un componente más de los agroecosistemas y no ofrece, por lo tanto, una mirada escindida de la realidad (Mónaco, 2014).

De esta manera, se puede visualizar que la sustentabilidad de la actividad agrícola será más fácilmente obtenida a través del Manejo Integrado de Enfermedades que con la pretensión de eliminación de los agentes patógenos. La planificación de sistemas de manejo integrado de enfermedades requiere tener en cuenta la expansión de las áreas de producción a zonas actualmente no cultivadas, la intensificación de la producción en áreas actualmente cultivadas, la probable incorporación de cultivos no tradicionales, de acuerdo con la demanda mundial de los mismos, el uso de cultivares con amplia variabilidad genética para evitar aquellos que podrían ser susceptibles a determinadas enfermedades y la mejora en los conocimientos sobre enfermedades por parte de los productores agrícolas, con un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles destinados a minimizar las mismas (Mónaco, 2014).

En este sentido, se pueden aplicar estrategias epidemiológicas para disminuir al mínimo las pérdidas causadas por enfermedades, con lo cual se pretende eliminar o reducir el inóculo inicial o retardar su aparición, disminuir la tasa de desarrollo de la enfermedad durante el período de crecimiento, acortar el tiempo de exposición de un cultivo al agente patógeno, utilizando variedades de corta duración o fertilización y prácticas de riego que eviten que el crecimiento de un cultivo sea lento y diversificar con la incorporación de numerosas especies en vez de una sola, para disminuir la incidencia de la enfermedad y de esta manera bajar el riesgo. Las técnicas más utilizadas para el manejo integrado de las enfermedades son, entre otras, el manejo cultural, el control biológico, el uso de cultivos de cobertura, la solarización y el uso de agroquímicos en algunos casos puntuales (Mónaco, 2014).

Control cultural

Los principios que fundamentan el control cultural son la supresión del aumento y/o destrucción del inóculo existente, el escape de los cultivos al ataque potencial del patógeno y la regulación del crecimiento de la planta direccionado a una menor susceptibilidad. Las estrategias generales que se pueden utilizar para disminuir la incidencia (número de plantas con síntomas/número total de plantas) de una enfermedad comprenden evitar, excluir o erradicar

los agentes patógenos, proteger al huésped, desarrollar la resistencia en los huéspedes y hacer un tratamiento previo a las plantas ya infestadas (Mónaco, 2014).

Control biológico

El control biológico, según la definición de Cook & Baker (1983; citado por Mónaco, 2014), es la reducción de la densidad de inóculo o de la actividad de un patógeno ya sea en estado activo o latente, como resultado de la acción de uno o más organismos denominados antagonistas. El control biológico aparece como una alternativa para minimizar los daños causados por los patógenos y reducir el uso de productos químicos. El mismo puede ser realizado mediante prácticas culturales, que creen condiciones ambientales favorables para la acción de los antagonistas, mejorando genéticamente la capacidad del huésped para activar a los antagonistas naturales, mejorando genéticamente el potencial antagónico de los biocontroladores y mediante la introducción masiva de antagonistas, razas no patógenas u otros organismos benéficos (Mónaco, 2014).

De acuerdo con Matta (1985; citado por Mónaco, 2014), la lucha biológica contra los organismos fitopatógenos consiste en mantener el equilibrio biológico preexistente a la incorporación de un cultivo, o reconstituirlo y manejar a los antagonistas naturales en situaciones ecológicamente desfavorables. Estas estrategias de acción, estarán basadas en un profundo conocimiento de las características epidemiológicas de la enfermedad. Un antagonista es aquel microorganismo saprobio capaz de interferir en el ciclo de vida de los patógenos vegetales.

Pueden ser hongos, bacterias, nematodos o virus, estos son los equivalentes a los “enemigos naturales” usados en el control biológico de insectos, pero su especificidad es menor. Los mecanismos de acción de los agentes de control biológico con base en la ecología microbiana, incluyen acción directa sobre el patógeno a través de la antibiosis, la competencia por nutrientes o nichos y el parasitismo o lisis del agente patógeno. El otro mecanismo es indirecto y opera por alteración de la fisiología de la planta aumentando su capacidad de resistencia al ataque del patógeno, lo cual se denomina protección sistémica o resistencia inducida. Asimismo, algunos hongos y bacterias rizosféricos pueden promover el crecimiento de la planta, fortaleciendo sus sistemas naturales de defensa (Mónaco, 2014).

Antibiosis

La antibiosis es la inhibición o destrucción de un organismo por los productos del metabolismo del otro. En sentido estricto es el antagonismo mediado por metabolitos específicos o no específicos de origen microbiano. Enzimas líticas, compuestos volátiles y otras sustancias tóxicas pueden interrumpir la síntesis de la pared celular y la elongación hifal de los hongos patógenos (Mónaco, 2014).

Parasitismo

El micoparasitismo es un complejo proceso entre especies cercanas o muy alejadas sistemáticamente que involucra el crecimiento quimiotrópico del agente de biocontrol hacia el hongo patógeno. Las hifas del agente de biocontrol se enrollan sobre las del patógeno, mediado por la lectina de la pared celular, disuelven sus paredes y pueden llegar a penetrarlas físicamente. La lisis de la pared del hongo patógeno está acompañada por una batería de enzimas extracelulares, incluyendo quitinasas, celulasas, ß-1,3-glucanasas y proteasas (Mónaco, 2014).

Habilidad saprofítica competitiva

Se define como el comportamiento desigual de dos o más organismos ante un mismo requerimiento (oxígeno, espacio, nutrientes), siempre y cuando la utilización de este por uno de los organismos reduzca la cantidad o espacio disponible para los demás. Este tipo de antagonismo se ve favorecido por las características intrínsecas del agente de control biológico, como plasticidad ecológica, velocidad de crecimiento y desarrollo, pero también depende del tipo de suelo, pH, temperatura, humedad, etc. La habilidad de un microorganismo para colonizar rápidamente su hábitat le confiere gran ventaja competitiva y ha sido considerado uno de los mecanismos clásicos de control biológico (Mónaco, 2014).

Predación

Este tipo de interacción se produce cuando los hongos patógenos forman parte de la dieta de algunos microorganismos antagonistas. No ha sido un mecanismo de acción muy importante en el desarrollo de agentes de biocontrol. El control biológico se vislumbra como una de las

técnicas agroecológicas más prometedoras, redituables y efectivas para incluirla dentro del manejo integrado de enfermedades, especialmente cuando los agentes de control son simbiontes mutualistas de los cultivos y les proporcionan mayor vigor o activan los mecanismos de defensa del vegetal, en sistemas de producción orgánicos o donde el consumidor no admite el uso de agroquímicos, en sistemas de producciones familiares, que no siempre tienen dinero para pagar insumos, cuando los plaguicidas sintéticos tienen poca acción reguladora o los patógenos han adquirido resistencia contra ellos, en ambientes sensibles al uso de compuestos sintéticos (lugares cerrados como invernaderos y sitios con presencia constante de personas) y en las franjas de prohibición de aplicación de pesticidas, muchas de ellas cercanas a centros urbanos (Mónaco, 2014).

Cultivos de cobertura

La utilización de cultivos de cobertura y leguminosas, especialmente leguminosas verdes incorporadas al suelo, es una forma muy eficaz para el control biológico de los agentes patógenos de las plantas. Los residuos de las leguminosas son ricos en nitrógeno, algunos otros cultivos de cobertura lo son en carbono, estos proporcionan, además, vitaminas y sustratos complejos. La actividad biológica se torna muy intensa en respuesta a los cambios de este tipo, lo que puede aumentar la fungistasis y la lisis del propágulo. Las enmiendas orgánicas se reconocen como iniciadores de dos importantes procesos para el control de las enfermedades: a) aumenta la inactividad de los propágulos y b) aumenta su digestión por microorganismos del suelo. Las adiciones orgánicas aumentan el nivel general de actividad microbiana y, cuantos más microbios encuentren en actividad, más probabilidades hay de que alguno de ellos sea antagonista de los agentes patógenos (Mónaco, 2014).

Resistencia inducida

Algunos agentes de biocontrol producen sustancias inductoras (elicitores) capaces de activar cambios fisiológicos y bioquímicos en las plantas (Ej. síntesis de fitoalexinas), que incrementan su tolerancia a subsecuentes infecciones por una variedad de patógenos. La resistencia inducida puede ser biótica o abiótica, dependiendo de su origen. En el primer caso se encuentran involucrados los agentes microbianos, tales como las rizobacterias y algunos

hongos saprótrofos. Esto se denomina “primming”, ya que la planta cuando se pone en contacto con el inductor adquiere una resistencia que le dura toda la vida (Mónaco, 2014).

Los inductores abióticos son de naturaleza química o física y resultan de la aplicación exógena de diferentes sustancias activadoras o estímulos físicos, respectivamente. Los elicitores químicos incluyen el acibenzolar-S-metil, ácido salicílico, ácido nicotínico, ácidos grasos, glicoproteínas, proteínas, péptidos, glicolípidos, lípidos, lipoproteínas, lipopolisacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. En relación a los elicitores físicos, se han citado tratamientos con calor o bajas dosis de luz ultravioleta que estimulan los mecanismos de defensa de las plantas (Mónaco, 2014).

La Rehabilitación de Cafetales

El potencial productivo de una variedad de café es definido por aspectos fisiológicos, como la capacidad de aprovechamiento de la luz solar para la producción de carbohidratos, o su capacidad de absorción de agua y nutrientes. También es determinante la arquitectura de planta; por ejemplo, su altura, el número de ramas primarias, la distancia entre los nudos y los puntos de floración. Ciertamente, con valores entre 4 quintales y 27 quintales de café verde por hectárea, la productividad promedio de los principales países productores de café arábico está muy por debajo de su potencial agronómico (SCAN, 2011; López, 2011; Velásquez, 2015).

Un deficiente manejo del cultivo de café, constituye el factor que incide en mayor o menor grado para la obtención de bajos rendimientos por unidad de superficie. Un adecuado manejo del cafetal comprende un conjunto de prácticas culturales que se inician con el desarrollo de las plántulas de café en vivero y luego continúan en las etapas de establecimiento y mantenimiento de la plantación (SCAN, 2011; López, 2011; Velásquez, 2015).

La rehabilitación de cafetales es una práctica cultural de mantenimiento que empieza con una poda denominada “recepa” y que debe ser complementada con la selección de brotes, fertilización, regulación de sombra, manejo de arvenses, podas, control fitosanitario y la correcta cosecha de frutos. Esto significa que la recepa constituye la fase inicial de un proceso en el mejoramiento agronómico de los cafetales. La rehabilitación de cafetales constituye una práctica cultural indispensable para asegurar la vida productiva de las plantaciones; sin

embargo, al momento de implementar esta práctica, los caficultores se plantean interrogantes relativas a los beneficios en términos productivos y económicos (SCAN, 2011; López, 2011; Velásquez, 2015).

Tecnologías Agroecológicas Innovadoras.

Consorcios de microorganismos efectivos y de montaña

Los microorganismos en la tierra viven en simbiosis o constituyen consorcios que actúan en forma conjunta. Eso quiere decir que microorganismos siempre se encuentran en contacto entre sí, con los elementos que los rodean y forman una red de interdependencias. Hoy sabemos que ellos regulan la composición de su población, su densidad y todas las demás actividades a través de comunicaciones ente ellos mismos, dependiendo de las necesidades del lugar y las condiciones (Higa, 2013 y Mau, 2011).

En el suelo existen una cantidad sin fin de microorganismos tanto: benéficos, patógenos y neutros para las plantas. En un ecosistema modificado por el hombre se ocasiona un proceso de pérdida de microorganismos benéficos y se favorece el incremento de microorganismos patógenos; por ello, es indispensable devolver al suelo los microorganismos benéficos a través de biofermentados que contienen principalmente bacterias de ácido láctico, levaduras, bacterias fototróficas o fotosintéticas (EMRO, 2015) y en cuyo caso pueden ser adicionadas bacterias y hongos tanto entomopatógenos como fijadores de algún nutrimento (*Metharrizum* sp., *Trichoderma* sp., *B. bassiana*, *B. thuringiensis*, micorrizas, *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp., *Rhizobium* sp.) (Schwentesius *et al*., 2014).

El uso de microorganismos efectivos o eficientes fue desarrollado por el profesor Higa de Japón en los años 80 y está mostrando resultados que se comparan con una nueva revolución en la agricultura (Higa, 2013 y Mau, 2011). Schwentesius *et al*. (2014) mencionan que la mejor manera de remediar los suelos es a través de los consorcios microbianos, para ello se recolectan y reproducen microorganismos de diferentes ecosistemas vírgenes. Los microorganismos son cultivados por separado, en la fase final de la formulación del consorcio microbiano se incorporan cepas de bacterias promotoras del crecimiento las cuales proceden

de cepas puras, micorrizas, bacterias solubilizadoras de fósforo, bioinsecticidas, biofungicidas, bionematicidas, así como organismos que desarrollan sinergia en el manejo de la roya.

Harina de rocas

La harina de rocas es una mezcla de rocas minerales molidas. Entre las rocas más destacadas por su aporte de minerales están: la Dolomita, Leonardita, Zeolita, la Roca Fosfórica. Restrepo (2007) indica que las rocas minerales son una fuente importante de nutrimentos para los cultivos y si se establece un programa de fertilización en base a harinas de rocas se pueden obtener beneficios como: el aporte gradual de nutrientes (macros y micros) importantes para la nutrición mineral de los cultivos, el aumento de la disponibilidad de dichos nutrientes en los suelos cultivados, aumento de la producción, reequilibrio del pH del suelo, aumento de la actividad de microorganismos y de lombrices, aumento de la cantidad y calidad del humus, control de la erosión del suelo a partir del mejor desarrollo de las plantas cultivadas y del aumento de la materia orgánica del suelo, aumento de la reserva nutricional del suelo, aumento de la resistencia de las plantas contra la acción de insectos, enfermedades, sequías y heladas, debido al estímulo de su estado nutricional y la eliminación de la dependencia de fertilizantes y agroquímicos, cuya producción exige un elevado consumo de energía; a su vez, esto se complementa con la incorporación de composta como fuente de M. O. y de microorganismos benéficos, que aceleran la solubilización de los minerales.

Inductores de resistencia

El término inductor “elicitors” se ha usado para referirse a compuestos que inducen la síntesis de fitoalexinas en plantas (Ebel, 1986). Davis *et al*. (1984) describieron la presencia de fragmentos de polisacáridos, producto de la pared celular del hongo, involucrados en el proceso de reconocimiento huésped-patógeno; estos fragmentos, probablemente producto de la hidrólisis enzimática de la pared celular vegetal como respuesta del mecanismo de respuesta a la infección de la planta son considerados los inductores de la síntesis de las fitoalexinas (compuestos involucrados en la defensa de las plantas ante la presencia de patógenos). Guzzo *et al*. (1987, citados por Lara, 1997), encontraron que la actividad inductora de resistencia por parte de uredosporas desactivadas *H. vastatrix* está asociada con la

presencia de B – azucares los cuales juegan un papel importante en el mecanismo de resistencia de cafetos como inductores de fitoalexinas.

Caldos minerales.

Los caldos minerales son una mezcla de agua y minerales como son: Ca, S, Cu, Si, entre otros, obtenidos a través de fuentes como la cal, el azufre agrícola, el sulfato de cobre y las cenizas. Principalmente estos caldos se conocen como: caldo bordelés (cal + sulfato de cobre), caldo sulfocálcico (cal + azufre), caldo ceniza. Estos preparados se utilizan con dos funciones; nutrir y prevenir enfermedades por sus propiedades fungicidas y en algunos casos como acaricidas. Estos tres tipos de caldos minerales son los recomendados por el CIIDRI para el manejo de la roya del café; sus aplicaciones deben de ser de manera preventiva para mantener protegido al cultivo del ataque del hongo *H. vastatrix*. En algunos casos funcionan de manera curativa cuando la infección en menor al 10 % y mediante el uso de un adherente para mejorar la distribución de las gotas en el envés de las hojas (Schwentesius *et al*., 2014).

Compostas

La mayoría de los elementos nutritivos necesarios para las plantas se encuentran en el suelo en cantidades variables, a veces insuficientes para lograr la adecuada producción. El enfoque para nutrir las plantas debe ser desde una perspectiva racional, ecológica y de bajos costos. El uso de abonos orgánicos es atractivo por su menor costo en producción y aplicación, por lo que resulta más accesible a los productores, sobre todo en países donde la mayor parte de la producción de alimentos se logra a través de una agricultura no tecnificada tal como ocurre en América Latina (Roe, 1998; citado por Nieto *et al*., 2002).

Los abonos orgánicos además de aportar nutrientes, mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Las técnicas de producción de los abonos orgánicos se han desarrollado y mejorado a través del tiempo, procurando utilizar en su mayoría desechos y recursos al alcance de los productores. Entre los más utilizados se encuentran la composta, lombricomposta y el abono tipo bocashi (Nieto *et al*., 2002). Las compostas se obtiene de la descomposición de materiales de origen vegetal y animal por la acción de microorganismos y el oxígeno (proceso aeróbico). Para obtener composta, se hace una mezcla de materiales ricos

en carbono (fibrosos) como bagazo, pajas, aserrín, hojas, tallos, cáscaras, etc., con materiales ricos en nitrógeno como gallinaza, pollinaza, estiércol, follaje verde, etc. (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Se ha comprobado que mejora una gran cantidad de características del suelo como la fertilidad, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización del nitrógeno, el fósforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para la agricultura, evita cambios extremos en la temperatura, fomenta la actividad microbiana y controla la erosión. Desde el punto de vista económico es atractivo su uso, ya que el costo a granel de composta representa aproximadamente el 10 % menos que el uso de fertilizantes químicos (Trápaga y Torres, 1994; citados por Nieto *et al*., 2002). Una de las bondades más destacadas de la composta es su aplicación a todo tipo de suelo con potencial agrícola, debido a que proporciona al mismo los nutrimentos y propiedades físico- químicas que son alteradas por las labores culturales propias de la agricultura (Nieto *et al*., 2002).

Foliares orgánicos

Existen hoy en día fertilizantes foliares orgánicos que aparte de incluir elementos esenciales de la planta aportan a su vez aminoácidos y se combinan también con microorganismos benéficos. De esta forma se reduce la incorporación de fertilizantes foliares químicos. Algunos de los propósitos de la aplicación de fertilizantes foliares son: corregir las deficiencias nutrimentales que en un momento dado se presentan en el desarrollo de la planta, corregir requerimientos nutrimentales que no se logran cubrir con la fertilización común al suelo, abastecer de nutrimentos a la planta que se retienen o se fijan en el suelo, mejorar la calidad del producto, acelerar o retardar alguna etapa fisiológica de la planta, hacer eficiente el aprovechamiento nutrimental de los fertilizantes, corregir problemas fitopatológicos de los cultivos al aplicar cobre y azufre, y respaldar o reforzar la fertilización edáfica para optimizar el rendimiento de una cosecha (Trinidad y Aguilar, 2000).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El sitio de estudio corresponde al municipio de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca ubicado en la Sierra Madre del Sur en las coordenadas geográficas 15° 58' latitud norte y 96° 42' longitud oeste a una altitud de 1,190 m.s.n.m. y pertenece a la región Costa del estado de Oaxaca (EMDM, 2014).

FIGURA 5. Ubicación del municipio de San Bartolomé Loxicha.[8]

De acuerdo con los datos del SMN (2015) y García (1989), la zona cafetalera del municipio presenta un tipo de clima correspondiente a la formula A (C) W_2 (w) i g w" que lo identifica como un semicálido subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano, porcentaje de precipitación invernal de 2.8 %, isotermal (oscilación térmica de 2.3 °C) con marcha de la temperatura tipo Ganges, presencia de canícula a partir del mes de junio que se prolonga hasta el mes de agosto y presencia de neblina en las partes altas del municipio durante el invierno y la época de lluvias.

[8] Fuente: INEGI (2015).

Metodología

A partir de mi estancia preprofesional en el municipio de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca donde se abarcó el panorama en el que se encuentra la producción de café del municipio y las alternativas para el manejo de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) que ha devastado las plantaciones donde anteriormente (en los 80´s) se obtenían en promedio alrededor de 24 qq/ha y que a partir de la incidencia de fenómenos meteorológicos y la constante presencia de plagas y enfermedades ha disminuido a 130 kg/ha, decidí llevar a cabo el presente trabajo, mismo que describe en forma puntual cada una de la prácticas agroecológicas que forman parte de proceso de transferencia de tecnología que el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral (CIIDRI) de la Universidad Autónoma Chapingo está llevando a cabo en el municipio antes mencionado y que es parteaguas para la su implementación en otras zonas cafetaleras de la república mexicana. Además se presentan la descripción del comportamiento de la enfermedad en las plantaciones, la implementación de prácticas agronómicas para mejorar las condiciones del cultivo en cuestión, el diseño de un programa de manejo integral del cultivo y la descripción de costos de la tecnología empleada para la rehabilitación de los cafetales.

En primera instancia se evaluó la incidencia de la enfermedad de la roya en cafetales del municipio de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca mediante el método “T” propuesto por SENASICA (2013 a) y datos anteriormente colectados con el mismo método a través de colaboradores del CIIDRI-UACh para describir el comportamiento de la enfermedad durante un ciclo de producción.

Posteriormente se establecieron 6 parcelas demostrativas (cuadro 5) de poda, mantenimiento de sombra, fertilización, manejo de plagas y enfermedades, establecimiento de barreras muertas y en un caso particular el establecimiento de un semillero y vivero de café, dichas actividades tuvieron lugar a lo largo de 4 meses (febrero-mayo del 2015) de la estancia preprofesional.

CUADRO 5. Ubicación geográfica de las parcelas demostrativas.[9]

Parcelas	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)
1	15.97155	- 96.71155	1210
2	15.97655	- 96.693	1347
3	15.97547	- 96.70241	1217
4	15.92997	- 96.76121	1178
5	15.97456	- 96.70926	1146
6	15.97672	- 96.70707	1060

En la figura 6 se observan diferentes puntos de color indicando las parcelas demostrativas que se establecieron en el área del municipio en cuestión.

FIGURA 6. Parcelas demostrativas en el municipio de san Bartolomé Loxicha.[10]

Para mejorar las prácticas de mejoramiento de los cafetales, fue necesario describir parte de la fenología del cultivo, la cual se tomó en cuenta de acuerdo a las especificaciones de Meier (2001) en la escala BBCH.

[9] Fuente: elaboración propia. Parcelas: 1= Eleuterio Román Mendoza; 2= Paulino Cruz Zurita; 3= Crisóforo Gaspar Pacheco; 4= Calixto Pedro Román; 5= Celedonio Cortés Gaspar; 6= Rubén Jiménez Cortés.
[10] Amarillo= Parcela 1; Verde= Parcela 2; Azul marino= Parcela 3; Morado= Parcela 4; Rojo= Parcela 5; Azul cielo= Parcela 6.

Las prácticas agronómicas en el cultivo se establecieron de acuerdo a una programación previa de actividades en el municipio y en base a la metodología agroecológica propuesta por el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral (CIIDRI) y el Centro de Investigaciones en Agricultura Sustentable y Educación Ambiental "Tierra Prieta" para: la colecta, reproducción y aplicación de microorganismos, elaboración y aplicación de caldos minerales, aplicación de inductores de resistencia, harina de rocas y foliares orgánicos; así como, en manuales para el cultivo de café, control de la roya, buenas prácticas agrícolas (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Arcila *et al*., 2007; Puerta, 2008; Farfán, 2014; IICA, 2010; OMS y FAO, 2015) y normas de certificación orgánica (CERTIMEX, 2014; IFOAM, 2005).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los cafetales en el municipio de San Bartolomé Loxicha

Sistema de cultivo, tipo de sombra y diversidad del cafetal

El sistema de cultivo predominante para café en el municipio es el natural, de montaña o rusticano. Aun así, se encuentran plantaciones en base al sistema policultivo tradicional y algunas de ellas en transición, ya que los productores buscan generar otros ingresos (aparte del café) con la incorporación de frutales (plátano, naranja, lima, guanábana, aguacate) y el mantenimiento de árboles para leña (encino, ocote, entre otros). A su vez se pueden distinguir dos formas de manejo de las plantaciones (el convencional y el orgánico) que se ven reflejados en dos principales organizaciones cafetaleras del municipio, denominadas “Café Número Uno” (convencionales) y Café del Milenio S. de S. S. (orgánicos).

El tipo de sombra en los cafetales es permanente con árboles de sombra de más de 15 años entre los que se encuentran generalmente el género *Inga* sp. conocidos el municipio con el nombre de cuil y otros árboles como: el ocote (*Pinus* sp), encino (*Quercus* sp.), aguacatillo (*Persea* sp. y *Ocotea atacta*), mamellito, palo liso, guanacastle (*Enterolobium cyclocarpum*), palo de cerro, guarumbo (*Cecropia obtusifolia*), palo mujer (*Alchornea latifolia*), cola de león, corazón de vaca, cuachepil (*Senna* sp.), cuaxia, guanchal (*Cupania dentata*), entre otros.

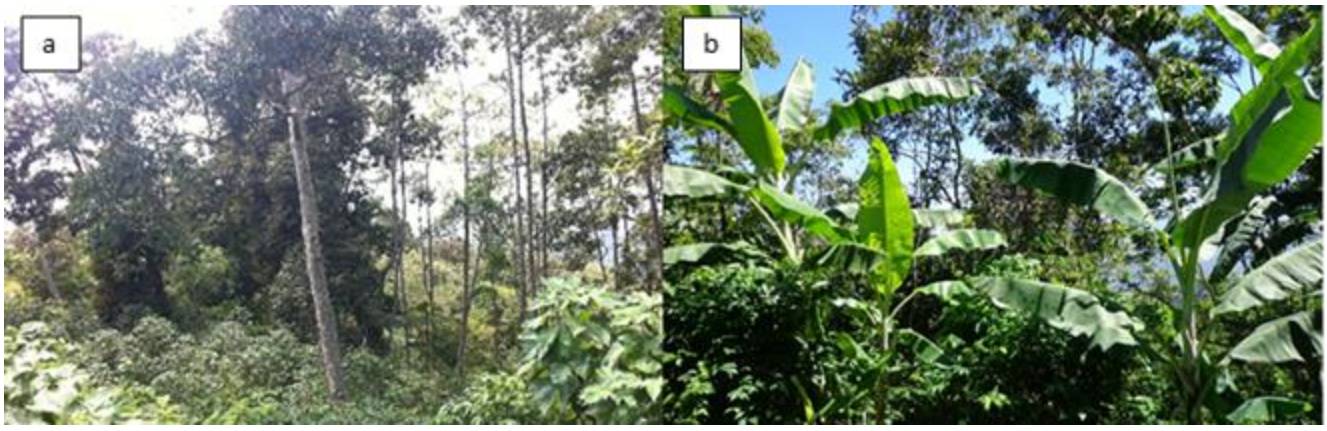

FIGURA 7. Sistema natural y policultivo tradicional.[11]

[11] Fuente: capturada en campo. a. sistema natural y b. policultivo tradicional.

Dentro de la diversidad de especies en el agroecosistema cafetalero del municipio de San Bartolomé Loxicha, también se encuentran plantas comestibles, medicinales y ornamentales como la cocolmeca (*Smilax* sp.), el palo de chile (*Salmea scandens*), la hierba santa, yeto o calabaza voladora, barbasco (*Dioscorea* sp.), bromelias y orquídeas; así como, una variedad de hongos comestibles.

Variedades y densidad de plantación.

Las variedades más utilizadas en las plantaciones de café del municipio de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca son Pluma Hidalgo y Typica o criolla. Otras variedades que se encuentran en menor proporción son: Mundo novo, Garnica, Catuaí, Bourbon y Caturra. Recientemente se ha introducido la variedad Oro azteca, a partir de las afectaciones por la roya del café, la razón de la introducción de esta nueva variedad desarrollada por el INIFAP es la presencia de características genéticas tolerantes a la roya del café.

Un rasgo distintivo de las plantaciones de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha es el enfoque de café orgánico que se tiene en las plantaciones y que es promovida por la Organización Café del Milenio S. de S. S. y en parte por la Coordinadora Estatal de Productores de Café de Oaxaca (CEPCO), la característica dominante del café orgánico es su cultivo bajo sombra, condición que ofrece numerosos beneficios ambientales.

Las densidades de plantación en los cafetales orgánicos fluctúan entre 1200 a 3300 plantas por hectárea, las distancias más amplias corresponden a variedades de porte alto. Cabe destacar que no en todas las plantaciones, las variedades se establecen de acuerdo a sus características de porte, tipo de crecimiento y se utilizan en gran medida "plantones"[12] sin respetar el marco de plantación. Esto implica que dentro de una plantación de café se pueden encontrar diferentes variedades (pluma hidalgo y garnica; pluma hidalgo y caturra, mundo novo y catuaí; entre otros.) Según el cuadro 6 la densidad de plantación varía de acuerdo al porte de la variedad.

[12] Plantones: plantas de café cuyo origen proviene de semillas germinadas en campo utilizadas como material para la renovación de la plantación, generalmente se dejan crecer entre plantas adultas para sustituirlas.

CUADRO 6. Variedades y densidades de plantación de café.[13]

Variedades	Porte	Distanciamiento (m)	Densidad (plantas/ha)
Typica, Pluma hidalgo, Mundo Novo y Bourbon	Alto	3 x 3	1111
		2 x 3	1667
		2 x 2.5	2000
		2 x 2	2500
		2 x 2.5	2000
		2.5 x 1.25	3200
		2.2 x 1.25	3636
		2.4 x 1.2	3472
Garnica, Caturra, Catuaí, Catimores	Bajo	2 x 1	5000
		2 x 1.25	4000

Situación del cultivo

El cultivo de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha ha presentado dificultades por la afectación de fenómenos meteorológicos como el huracán Paulina en 1997 y más recientemente el huracán Carlotta en el 2012 entre otros fenómenos que han mermado las plantaciones. Por otra parte, el cultivo en el municipio se maneja a libre crecimiento sin la realización de podas (despunte o descope) para mantener un porte bajo de los cafetos. Aun así, prácticas como la poda fitosanitaria (denominada poda de cariño) se realizan cuando las ramas de los cafetos se encuentran en su mayoría secas y la formación de barreras muertas o barreras vivas para el control de la erosión se realizan en base a los lineamientos de la principal organización de productores de café orgánico del municipio (Café del Milenio S. de S. S.).

Ante un precario manejo del cultivo, se vio favorecida la incidencia de plagas y enfermedades (broca y roya principalmente) que afectaron seriamente las plantaciones de café. En el 2014 la roya fue el principal problema en las plantaciones de café, con lo cual, el aspecto del cultivo pasó a un nivel de alerta por parte de los productores, debido a severas defoliaciones de los cafetos y una baja en la producción en cuyo caso los frutos no alcanzaron su nivel óptimo de maduración perdiendo calidad y reduciendo la entrega del producto hacia la comercializadora (figura 8).

[13] Fuente: Fuente: Sosa *et al.* (1999)

FIGURA 8. Cafetos a libre crecimiento y defoliados a causa de la roya.[14]

Caracterización de plagas y enfermedades en los cafetales

Respecto a los daños causados por las plagas en los cafetales del municipio, estos no se comparan a los causados por la enfermedad de la roya del café; más sin embargo, no se descartó la presencia de broca del café, minadores de la hoja, barrenadores de tallos y ramas y gallina ciega, entre otros (figura 9).

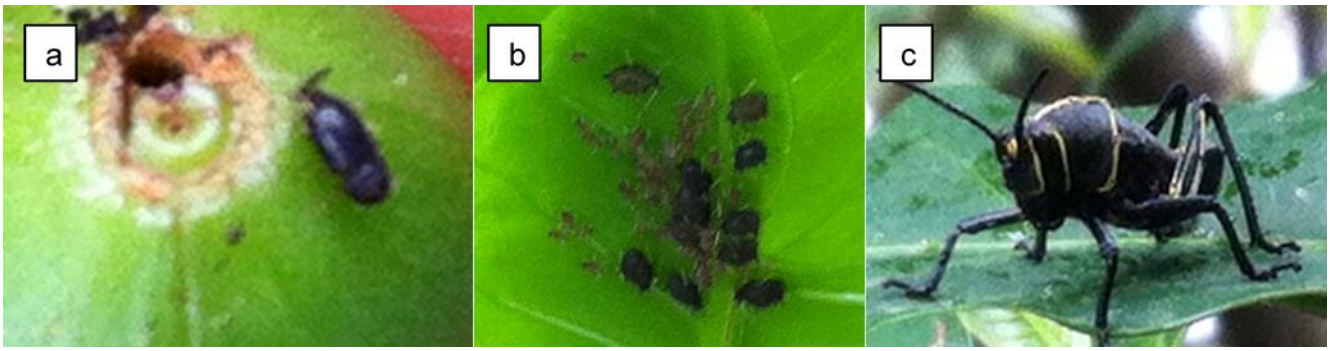

FIGURA 9. Plagas encontradas en los cafetales.[15]

[14] Fuente: Capturada en campo en diciembre de 2014. Las figuras a y b indican cafetos avejentados y defoliados por la roya anaranjada.
[15] La figura a muestra un ejemplar de *H. hampei* (broca del café), la b muestra pulgones alimentándose de la savia en hojas jóvenes y la c muestra la presencia de chapulines.

Monitoreo de *H. vastatrix* en cafetales de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca.

Datos obtenidos por parte de colaboradores del CIIDRI-UACh mediante el método T propuesto por SENASICA para el monitoreo de la roya en enero de 2014 a partir de seis parcelas de café del municipio de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca indican un aumento de la enfermedad que varía desde un 26-88 % del área foliar afectada por el hongo *H. vastatrix* y de un 46 hasta un 100 % de afectaciones en las parcelas. En el mes de abril de 2014 los resultados del monitoreo de la roya en el municipio señalan una disminución en el área foliar afectada por el hongo que abarca desde un 15-54 % con afectaciones en las parcelas desde un 22-59 % (cuadro 7).

En el cuadro 7 se observa que la severidad en los cafetos es casi idéntica en los meses donde se realizó el monitoreo; más sin embrago, la afectación de manera general es mayor en el mes de enero y disminuye drásticamente para el mes de abril en algunas parcelas; aun así, la incidencia en mayor o menor grado se puede explicar por la renovación de follaje de los cafetos que tiene cabida en los meses de febrero, marzo, abril y llega a traslaparse aún durante la floración. En el mes de diciembre donde se dio el tercer monitoreo vuelve a incrementarse los niveles de daños en las plantas a causa del patógeno y de igual forma el nivel de afectación se incrementa. Las medidas de control de la enfermedad para estas fechas comenzaban a mostrar efectos positivos en cuyo caso solo tenían un lapso protector de unas semanas con una nueva incidencia de la enfermedad al culminar el periodo de efecto de los productos utilizados (caldo ceniza, caldo bordelés, caldo sulfocálcio).

CUADRO 7. Severidad y afectación de la roya del café en los meses de enero y abril de 2014.[16]

Parcelas de monitoreo *	Enero		Abril	
	Severidad (%)	Afectación (%)	Severidad (%)	Afectación (%)
Parcela A	26	85	26	35
Parcela B	29	46	29	37
Parcela C	38	88	54	59
Parcela D	39	85	25	57
Parcela E	59	65	29	30
Parcela F	88	100	15	22

[16] Fuente: CIIDRI, 2014. * Parcelas de monitoreo: A= Getulio Gaspar Pacheco; B= Jordán Mendoza; C= Macario Santos; D= Moisés Cortés García; E= Joaquín; F= Rubén Jiménez Cortés.

Para diciembre de 2014 el monitoreo se amplió a 11 parcelas de café; el daño de la roya en las 11 parcelas abarcó un nivel de entre 3 y 4.5 (figura 10), lo cual implica en términos reales, que entre un 30 y 80 % del área foliar de los cafetos se encontraban contaminados por el hongo *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome. Inclusive observaciones en campo en el mismo mes y posteriormente en febrero de 2015 incurrieron en la defoliación de cafetos a causa de la enfermedad.

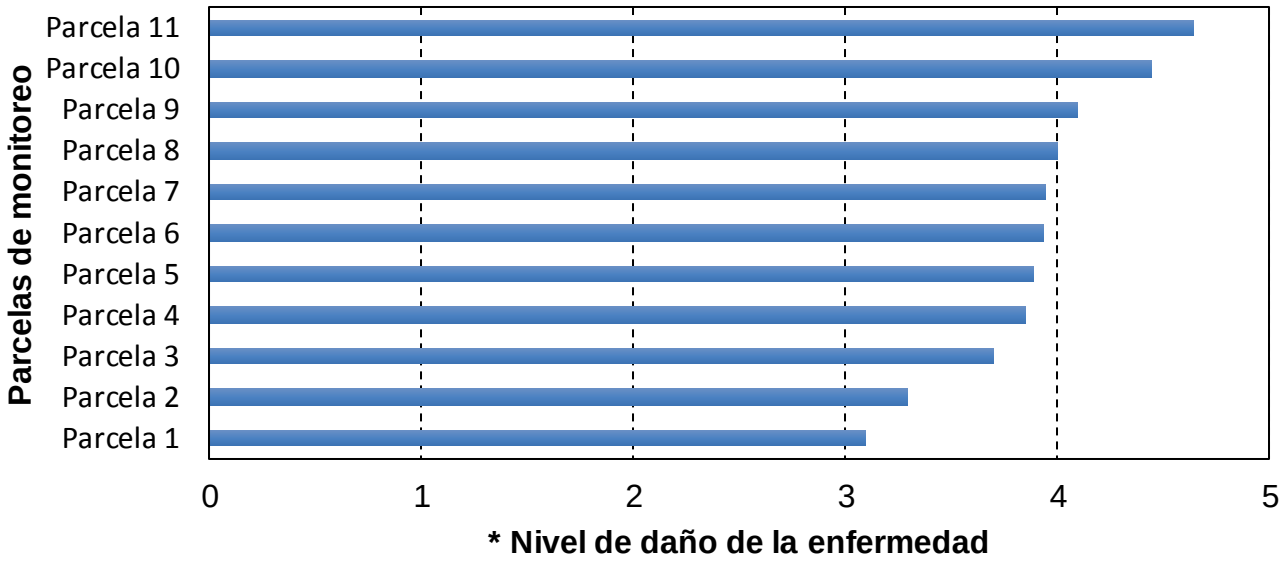

FIGURA 10. Nivel de daño en cafetos afectados por la *Hemileia vastatrix* Bk. & Br.[17].

Estos datos concuerdan en parte con lo descrito por Campos (2015) para las condiciones de Guatemala donde se presentan tres periodos de desarrollo de la enfermedad que los describe como: a) fase lenta, b) fase rápida o explosiva y c) fase terminal o máxima. Cabe destacar que las condiciones de cada parcela puede influir en un mayor o menor nivel de daño en el cultivo.

Lo anterior se puede explicar observando la distribución de la precipitación y temperatura en la figura 11, donde se aprecia que el año 2013 fue el más lluvioso, con una precipitación máxima de cerca de 950 mm en el mes de septiembre. Ante esto, y las condiciones de

[17] Fuente: CIIDRI, 2014. * Nivel de daño de la enfermedad: 0= planta sana; 1= 3 % área foliar contaminada; 2= 10 % área foliar contaminada; 3= 30 % área foliar contaminada; 4= 60 % área foliar contaminada; 5= Planta defoliada.

humedad y temperaturas (18-32 °C) a lo largo del año 2014 suponen el incremento de la enfermedad de la roya culminando en la defoliación de los cafetos para principios del año 2015.

Destaca particularmente que en a partir de los últimos meses del año 2014 el nivel de la roya se incrementó considerablemente llegando a niveles críticos durante los meses de diciembre, enero y febrero donde se presentó la defoliación de gran parte de los cafetos; en cuyo caso podría correlacionarse con la carga fructífera, la cual genera un desgaste por parte de los cafetos aunado a la pérdida progresiva del área foliar a causa de la enfermedad.

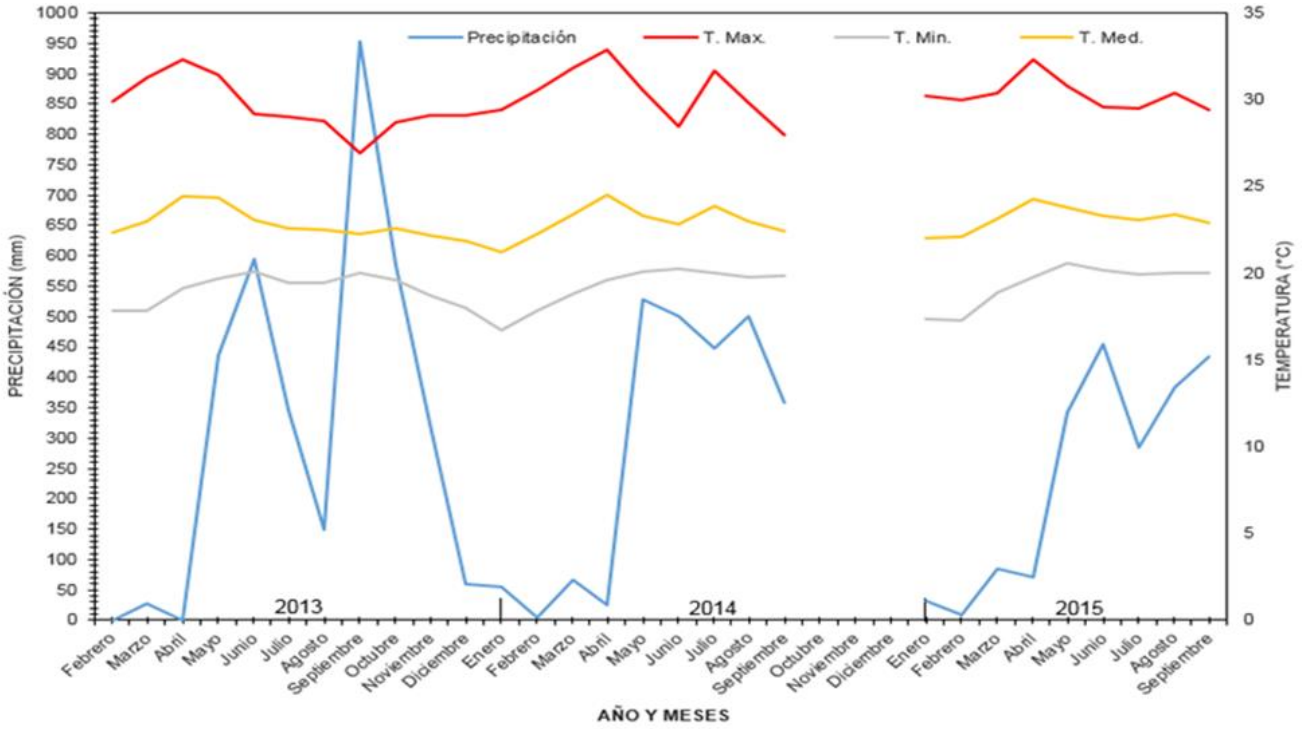

FIGURA 11. Distribución de precipitación y temperatura de febrero de 2013 a septiembre de 2015.[18]

[18] Fuente: INIFAP, 2015. Datos no disponibles de octubre a diciembre de 2014.

Desarrollo de *H. vastatrix* en el municipio de San Bartolomé Loxicha

En febrero de 2015 en su mayoría los cafetos de las parcelas monitoreadas se encontraban en un estado de defoliación; casos particulares como las parcelas 2 y 5 se mantenían en mejores condiciones influenciados a un mejor manejo del cultivo y la aplicación de productos para el control de la roya.

La enfermedad de la roya del café se ve influenciada principalmente por dos factores ambientales la temperatura y la precipitación. Estos dos factores son determinantes para el desarrollo de las esporas del hongo y su permanencia en los cafetales del municipio. En la figura 12 se muestran valores promedio de precipitación y temperatura y el porcentaje de daño causado por la roya en cafetales del municipio de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca.

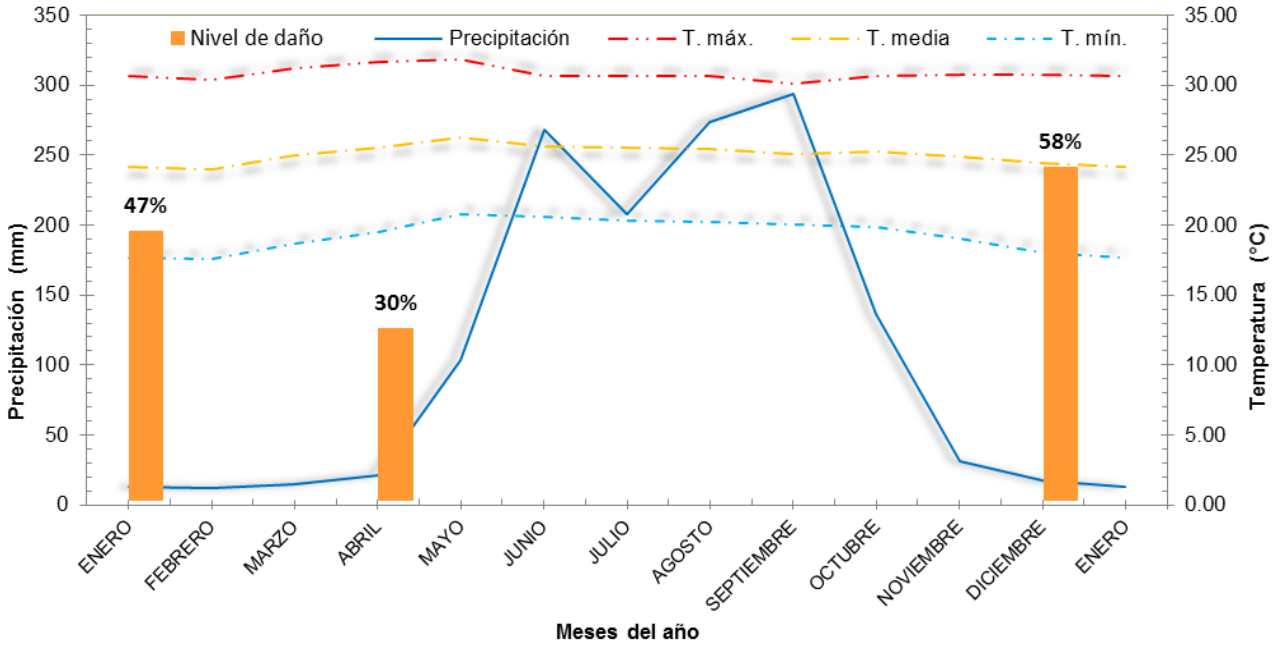

FIGURA 12. Porcentaje de daño de la roya en cafetos y su relación con la precipitación y temperatura del municipio de San Bartolomé Loxicha.[19] Fuente: INIFAP, 2015.

A partir del mes de abril hasta el mes de octubre se ve influenciado el desarrollo de la enfermedad por temperatura y precipitación. Durante esta época del año las precipitaciones varían desde los 150 mm hasta los 300 mm y la temperatura promedio alcanzan valores de 20

[19] Fuente: SMN, 2015 y CIIDRI, 2014.

a 25 °C, aunque si bien es cierto se llegan a presentar valores de 28-30 °C como máximos y de 19 a 17 °C como mínimas y se correlaciona con los valores de precipitación y temperatura de la figura 11.

En diciembre de 2014 el nivel de infección de *H. vastatrix* en los cafetales de San Bartolomé Loxicha alcanzó sus niveles máximos como se observa en la figura 12 a partir de este mes y; en enero y febrero de 2015 se comenzó a notar que la enfermedad pasó completamente a su fase final donde se presentaban daños como: defoliaciones, frutos inmaduros que no adquirían su coloración completa y caída de frutos (figura 13).

FIGURA 13. Nivel máximo de infección.[20]

Durante el mes de enero y febrero de 2015 se realizó la cosecha de los frutos, muchos de los cuales no adquirieron su coloración completa a causa de la reducción del área foliar causado por la caída de hojas afectadas por el hongo *H. vastatrix*. En algunos otros casos la defoliación consecuentemente traería consigo la muerte de los cafetos (figura 14).

[20] Fuente: capturada en campo, donde se presentan niveles extremos de la roya anaranjada en los cafetales del municipio de San Bartolomé Loxicha.

FIGURA 14. Fase final de la enfermedad.[21]

En el caso de los cafetos que soportaron la presencia de la enfermedad, continuaron con su crecimiento vegetativo (emisión de nuevas ramas y hojas). Debido a la presencia de uredosporas en hojas contaminadas y persistentes en las ramas, la infección se dio nuevamente (figura 15).

Así es como se generó un nuevo ciclo de la enfermedad, donde influyeron la presencia de vientos en el mes de febrero y marzo, las precipitaciones atípicas en el mes de marzo (lluvia atípica el 15 de marzo de 2015) y temperaturas elevadas durante los meses siguientes que favorecieron la dispersión, germinación e infección de *H. vastatrix*.

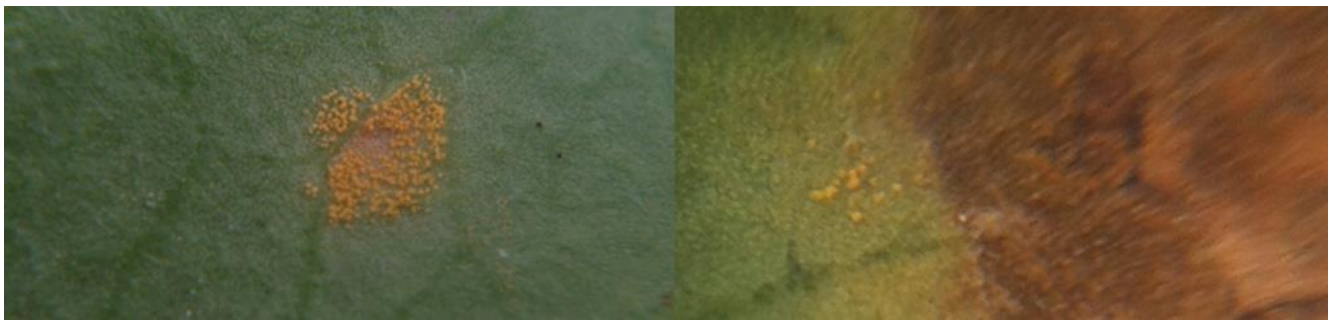

FIGURA 15. Esporulación y dispersión del inoculo primario.[22]

[21] Fuente: capturada en campo.
[22] Fuente: capturada en campo.

Al completarse la infección los primeros síntomas de la enfermedad se notan como puntos amarillos en el haz y envés de las hojas que se van expandiendo conforme el paso del tiempo, los factores favorables para el desarrollo del hongo (figura 16).

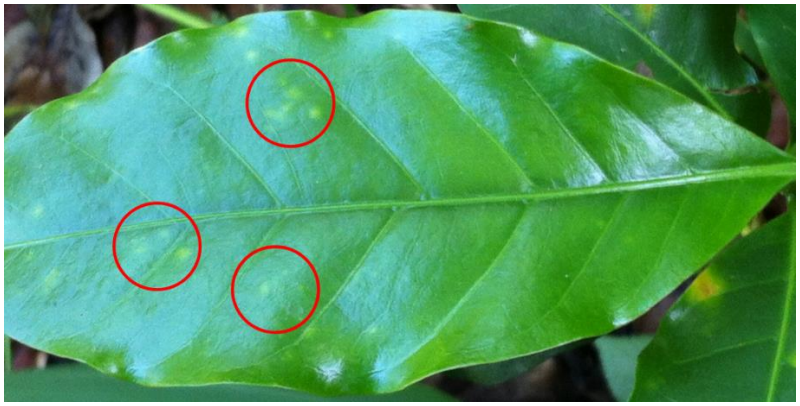

FIGURA 16. Fase inicial e inicio de la infección del hongo *Hemileia vastatrix* vista desde el envés y el haz de hojas de cafetos.[23]

Una vez que se presentan los primeros síntomas, la aparición de polvillo amarillento o naranja (figura 17) denota el signo inequívoco de la enfermedad (haustorios y uredosporas). Dado que el *H. vastatrix* se desarrolla en la hoja de los cafetos, la zona invadida por el hongo se torna necrótica; si el nivel de infección en la hoja es alta (> 60 %) y en ausencia de un manejo de la enfermedad la hoja tiende a secarse y desprenderse de la rama dando pauta a la defoliación del árbol que en algunos casos llega a ser severa provocando la muerte de los cafetos.

FIGURA 17. Fase intermedia de la enfermedad.[24]

[23] Fuente: capturada en campo.
[24] Fuente: capturada en campo.

La roya anaranjada no es la única enfermedad presente en los cafetales, condiciones ambientales similares provocan el desarrollo de enfermedades como el ojo de gallo causado por el hongo *M. citricolor* (figura 18) que llega a afectar de manera considerable a los cafetos. Aunque bien, su incidencia fue menor, en conjunto con la roya del café y otras enfermedades, llegan a causar grandes pérdidas económicas para los productores.

FIGURA 18. Ojo de gallo.[25]

Otro de los problemas que ha mermado la producción de café en el municipio, está relacionado a enfermedades del suelo, en este caso las pudriciones radiculares (figura 19) que conllevan a los cafetos a un estado aparentemente saludable pero con crecimiento vegetativo escaso y posteriormente la muerte paulatina de la planta. Dentro de los agentes causales de enfermedades de la raíz en el cultivo de café se encuentran: *Rossellinia*, *Rhizoctonia* y *Fusarium* principalmente. Estos patógenos actúan después de que las raíces se ven afectadas por plagas del suelo como: gallina ciega, gusano de alambre y nematodos o bien con daños mecánicos en el trasplante a campo definitivo.

[25] Fuente: capturada en campo.

FIGURA 19. Pudrición de la raíz.[26]

Fenología del cultivo de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha.

De manera general y de acuerdo a especificaciones de Meir (2001); la fenología del cafeto en el municipio de San Bartolomé Loxicha, se registró en base se tomó en base a tres criterios: a) plantas de almacigo a vivero (cuadro 4); b) plantas en campo (cuadro 5 y cuadro 41 de anexos); c) en plantas renovadas a partir de podas de rejuvenecimiento (cuadro 8); los datos fueron tomados durante el periodo de estudio (4 meses) con fines prácticos, para implementar labores al cultivo y conseguir consecuentemente mejores resultados en su manejo.

CUADRO 8. Fenología del cafeto de almacigo a vivero.[27]

Estado fenológico	Fases	Fecha
Estado principal de crecimiento 0 : Germinación	Semilla seca.	13/03/2015
	Emergencia de la radícula.	02/04/2015
	Hipocótilo sobresaliente el suelo.	10/04/2015
	Emergencia.	14/04/2015
Estado principal de crecimiento 1: Desarrollo de la hoja en el tallo de la planta de almacigo y vivero.	Cotiledones completamente abiertos.	07/05/2015
	Primer par de hojas verdaderas sin abrir se separan del ápice del tallo.	18/05/2015
	Primer par de hojas abiertas pero aún no alcanzan su tamaño final.	21/06/2015

[26] Fuente: capturada en campo.
[27] Elaboración propia, a partir de datos de campo.

CUADRO 9. Fenología del cafeto en plantas en campo.[28]

Estado fenológico	Descripción	Fecha
Estado principal de crecimiento 1: Desarrollo de la hoja, en las ramas del árbol.	Se registro como inicio de esta etapa los dos primeros pares de hojas abiertas pero sin alcanzar su tamaño final. Hojas de color verde claro o bronceadas.	26/02/2015 20/05/2015 22/06/2015
Estado principal de crecimiento 3: Elongación de ramas.	Se registró como el inicio de esta etapa los 10 primeros nudos presentes en la (s) rama(s).	04/03/2015 27/05/2015
Estado principal de crecimiento 5 : Desarrollo de la inflorescencia	Flores visibles, separadas entre si, todavia cerradas, pétalos 4-6 mm de longitud y de color verde (estado de latencia).	26/03/2015 21/04/2015
Estado principal de crecimiento 6: Floración	Primeras flores abiertas hasta el 50 % de flores abiertas.	08/04/2015 05/05/2015 22/06/2015
Estado principal de crecimiento 7: Desarrollo del fruto y de la semilla	Frutos visibles como pequeñas cerezas amarillentas. Cuajamiento del fruto, los frutos alcanzan el 10, 30 y 50 % de su tamaño final.	22/04/2015 20/05/2015 14/07/2015

CUADRO 10. Fenologia del cafeto en plantas podadas.[29]

Estado fenológico	Fase	Fecha
Estado principal de crecimiento 0 : Propagación vegetativa	Nudos abultados y no se observa brote. Emergencia	03/04/2015 10/04/2015
Estado principal de crecimiento 1: Desarrollo de la hoja.	Desarrollo del conjunto de hojas nuevas.	16/04/2015
Estado principal de crecimiento 2: Formación de ramas (plantas en el campo).	Formación de ramas nuevas.	18-21/05/2015

[28] Fuente: elaboración propia, a partir de datos de campo.
[29] Fuente: elaboración propia, a partir de datos de campo.

Descripción de prácticas agronómicas para la rehabilitación de cafetales

Establecimiento de almacigo de café

Si bien es cierto que la rehabilitación de los cafetales comienza con la poda de rejuvenecimiento, es necesaria complementarla en primer lugar con el adecuado establecimiento de almácigos y viveros de café para llevar a cabo la renovación del cafetal. Para ello se deben de tomar en cuenta diversos factores que permitirán el obtener plantas sanas y vigorosas para el trasplante a campo definitivo. En el municipio de San Bartolomé Loxicha se estableció en acuerdo con uno de los productores un almacigo y vivero de café como ejemplo para con sus compañeros de la organización Café del Milenio S. de S. S.

Procedencia de la semilla

Para el establecimiento del almacigo se debe considerar la procedencia de la semilla (comprada o producida en la parcela). Si la semilla es comprada se debe tomar en cuenta aspectos relacionados a la calidad como son: 1) la variedad, 2) la pureza varietal, 3) edad de la semilla, 4) procedencia de la semilla (plantaciones con buena producción y de comportamiento estable) y conocer aspectos en el manejo adecuado del procesamiento de frutos y semillas para mantener su poder germinativo (ANACAFÉ, 2015; Ordoñez, 2001; Sotomayor y Duicela, 1993; Heredia, 2011; SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Si la semilla es producida en la parcela se deberán tomar en cuenta aspectos como: 1) el lote y plantas donde se colectan los frutos, 2) la variedad (pureza genética), 3) sanidad de las plantas, 4) el vigor y potencial productivo de las plantas madre, 5) el grado de maduración al momento de la colecta (grado óptimo de maduración), 6) prueba de frutos vanos (sumergir 100 frutos sanos en agua, si la cantidad de frutos que flotan es menor o igual a 8, la planta madre tiene una buena cualidad que heredará a sus descendientes (ANACAFÉ, 2015; Ordoñez, 2001; Sotomayor y Duicela, 1993; Heredia, 2011; SAGARPA y COFUPRO, 2008).

El despulpado

Este deberá ser a mano, debido a que, el despulpado mecánico (con despulpadora) puede causar daños a las semillas y afectar su viabilidad. Se deben evitar la mezcla con semillas de otras variedades durante el despulpado para no afectar la pureza varietal (ANACAFÉ, 2015; Ordoñez, 2001; Sotomayor y Duicela, 1993; Heredia, 2011; SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Fermentado y lavado de las semillas

Una vez que concluye el proceso del despulpado las semillas se sumergen en agua limpia y se deja fermentar para que la pulpa pegajosa se separe de la piel de las semillas o granos del café a través de la acción de las enzimas naturales durante el tiempo que los granos permanecen sumergidos. Este proceso puede variar de 1-3 días y tiene como ventajas: 1) hidratar a la semilla; 2) reducir los niveles de hormonas que inhiben la germinación, 3) acelerar la germinación (desdoblamiento de enzimas germinativas). Una vez que la semilla es fermentada, es necesario lavarla y posteriormente deberá ser secada lentamente y bajo sombra para que alcance una humedad entre el 30 y 35 % (ANACAFÉ, 2015; Ordoñez, 2001; Sotomayor y Duicela, 1993; Heredia, 2011; SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Selección de la semilla

Finalmente se realiza una última selección de las semillas, donde se deberán eliminar semillas caracol, triángulos, semillas muy grandes y muy pequeñas (figura 20), con daños mecánicos o por broca del café, granos enfermos (contaminados con hongos que puedan afectar la germinación de otras semillas). Las semillas a utilizar para la siembra son las denominadas planchuelas, estas en su mayoría deberán de tener un tamaño uniforme para obtener una emergencia uniforme y plántulas vigorosas (ANACAFÉ, 2015; Ordoñez, 2001; Sotomayor y Duicela, 1993; Heredia, 2011; SAGARPA y COFUPRO, 2008).

FIGURA 20. Tipos de semillas de café.[30]

Selección del lugar y espacio del almacigo.

El almacigo debe de ubicarse en un sitio con disponibilidad de agua para los riegos, soleado o bajo sombra moderada. La dimensión de la cama de siembra varía de 25-30 cm de alto, 1-1.2 m de ancho y 1 m o más de largo. El espacio para el almacigo depende de la cantidad se semilla a sembrar. Por lo general 0.5 kg de semilla alcanza para sembrar en un 1 m^2 del almacigo (ANACAFÉ, 2015; Ordoñez; Sotomayor y Duicela, 1993; Heredia, 2011; SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Preparación y desinfección del sustrato.

El sustrato del almacigo[31] puede ser a base de arena (100 %) o bien a base de tierra de monte y arena (para evitar la acumulación de agua). En el caso del almacigo instalado, se mezclaron 10 costales de tierra de monte cernida o cribada (60-70 kg) y 2 costales de arena cernida (80 kg). Posteriormente el sustrato se cubrió con un plástico negro por aproximadamente 4 semanas para su desinfección por medio de la solarización (figura 21). En el caso de que el sustrato sea de arena la desinfección se puede realizar por medio de agua caliente, aplicando el agua (alrededor de 15 L) en el sustrato una vez que este rellena la cama de siembra.

[30] Fuente: capturada en campo durante la selección de la semilla. De izquierda a derecha se observan semillas de café: pequeña, triangulo, caracol, gigante y planchuela.

[31] El sustrato debe estar libre de terrones, piedras, palos, raíces y otros; para lo cual debe tamizarse con malla de un cuarto de pulgada o menos. El cribado del sustrato para la siembra tiene como finalidad el desarrollo óptimo de la raíz de los cafetos. Si no se realiza esta actividad la raíz principal de los cafetos sufre modificaciones (bifurcaciones, deformación del ápice de la raíz y detención del crecimiento, curvaturas, entre otras) que no son deseables para el trasplante a bolsas como las que se observan en la figura 28.

FIGURA 21. Solarizado del sustrato para la cama de siembra.[32]

Siembra.

Antes de la siembra es necesario humedecer el sustrato para mantener condiciones óptimas de humedad para la correcta germinación de las semillas. La siembra se realiza en surcos (figura 22), el distanciamiento entre surcos varía de 5 a 10 cm. La colocación de las semillas es una tras otra con la parte plana en orientación al sustrato a una profundidad de 2-3 veces el grosor de la semilla. Una vez colocadas las semillas es necesario taparlas con el mismo sustrato.

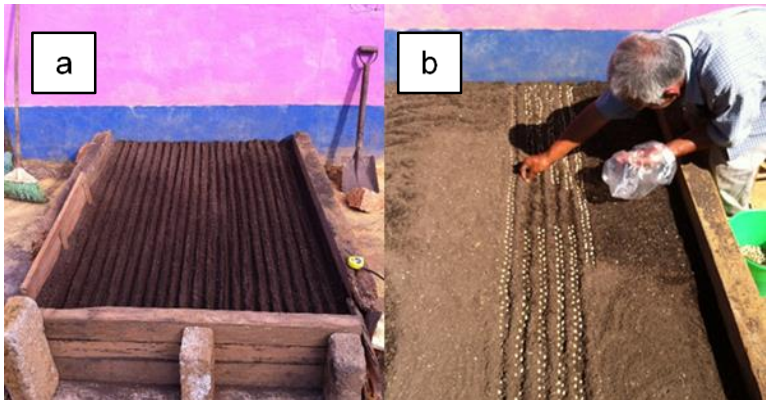

FIGURA 22. Surcado y siembra de semillas de café.[33]

[32] Fuente: capturada en campo.
[33] Fuente: capturada en campo durante la siembra de semillas de café. La figura a indica el surcado y la b la siembra de la semilla.

Cobertura del almacigo

Una vez realizada la siembra, es necesario la colocación de una cubierta protectora (figura 23) sombre el almacigo. Está cubierta de preferencia deberá de contar con las características siguientes: de color obscuro para conservar la temperatura y debe ser porosa para permitir el intercambio de gases y agua. La cubierta debe de permanecer hasta la emergencia de las plántulas (4-50 días después de la siembra) y una vez emergidas las plántulas se levanta a una altura de 40-70 cm por encima de las plántulas para facilitar el desarrollo de las mismas.

Riegos

Posteriormente después de la colocar la cubierta en el almacigo, el riego es indispensable para mantener las condiciones de humedad en el sustrato (figura 23). Si el sustrato es una mezcla de tierra de monte y arena, por lo general se requiere en el primer riego alrededor de 8 L de agua. Y una vez cada semana se realizarán riegos con aproximadamente 15 L de agua. Dependiendo del porcentaje de humedad la frecuencia de riego puede distanciarse hasta por 10 días. Si el sustrato es de arena, el riego deberá realizarse por lo menos de 2-3 veces por semana.

FIGURA 23. Cobertura y riego del almácigo de café.[34]

[34] Fuente: capturada en campo.

Enfermedades en el almacigo

La principal enfermedad que se llega a presentar en el almacigo de es el damping off o mal del talluelo (figura 24). Esta enfermedad es a causa un complejo de hongos, entre los que generalmente se encuentran *Rhizoctonia* sp. como el principal agente causal. La enfermedad llega a provocar hasta un 75 % de mortalidad de las plántulas y se presenta en plántulas en estado de fosforo o soldadito y mariposa (Sotomayor y Duicela, 1993).

El principal síntoma de la enfermedad es la presencia de un estrangulamiento y una zona necrótica a nivel del cuello de la plántula afectada que se va extendiendo. Por la intensidad del ataque ocurre una paralización de la circulación de la savia, que da lugar al marchitamiento y volcamiento de la plántula enferma (Sotomayor y Duicela, 1993).

FIGURA 24. Comparación de plantas producidas en viveros.[35]

Establecimiento de vivero de café

Preparación de sustrato

Se mezcló tierra de monte y arena en diferentes proporciones (1:1, 2:1, 3:1, 4:1) para probar la infiltración y retención del agua (figura 25), debido a que las bolsas permanecerán a la intemperie solo cubiertas por malla sombra y con el riesgo de mantener mucha humedad

[35] Fuente: capturada en campo. Contrasta manejos diferentes de las plantas en vivero. La figura a muestra plántulas de la variedad Oro azteca (variedad tolerante a la roya) otorgadas al productor con serios problemas de damping off. La figura b muestra plántulas de la variedad Pluma hidalgo (variedad susceptible a la roya) con un manejo adecuado de desinfección y de humedad del sustrato.

debido a las lluvias de la temporada. Por lo que se optó por utilizar la mezcla 3:1 (3 botes de tierra y 1 bote de arena) que presentó mejores resultados en tiempo de infiltración y en retención de humedad.

FIGURA 25. Prueba de mezclas de sustrato (tierra de monte y arena).[36]

Con ayuda del productor se continuó con la preparación del sustrato y el llenado de 366 bolsas. La mezcla del sustrato se inoculó con cuatro cepas de hongo micorrizicos correspondientes a *Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum*, *G. clarum* y seis tipos de bacterias benéficas, fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo y promotoras del crecimiento radical correspondientes a *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Paenibacillus azotofixans*; además, se incorporaron a la mezcla 15 kg de harinas de rocas (figura 26).

FIGURA 26. Preparación del sustrato para el llenado de bolsas.[37]

[36] Fuente: capturadas en campo durante la preparación del sustrato. La figura a indica la arena, la b indica la tierra de monte y la c la mezcla ideal de ambos sustratos para el llenado de bolsas.
[37] Fuente: tomada en campo durante la preparación del sustrato. La figura a indica la preparación del sustrato (tierra de monte y arena) y la b indica el sustrato terminado.

Elección y llenado de bolsas

Las dimensiones de las bolsas para viveros de café varían según el espacio disponible. Las dimensiones más comunes son de 15x25. Para el caso del vivero de San Bartolomé Loxicha se ocuparon bolsas de 18x35 más amplias y altas para un mejor desarrollo radicular de los cafetos. Se rellenaron 366 bolsas con alrededor de 900 kg de sustrato (figura 27).

FIGURA 27. Llenado de bolsas con sustrato.[38]

Establecimiento del sombreado.

El sombreado en el vivero es una práctica común, y además recomendable para lograr unas plantas sanas y vigorosas. En México por lo general, los viveros se establecen bajo una sombra construida de forma tradicional; sin embargo, el productor puede seleccionar dentro de tres tipos de sombreado (tradicional, cobertizo artificial semifijo, cobertizo artificial fijo) (Sotomayor y Duicela, 1993; Sosa *et al.,* 1999).

Para fines prácticos en el vivero, se colocó una malla sombra una altura de 1.7 m sobre el suelo para proteger a las plantas de la insolación (figura 28).

[38] Fuente: capturada en campo durante el llenado de bolsas.

FIGURA 28. Malla sombra en vivero.[39]

Trasplante de cafetos

El trasplante se realizó por la tarde. Se seleccionaron del almacigo plantas sanas, con raíces principales bien formadas, sin deformaciones en las raíces, en estados de fosforo y cotiledones abiertos (mariposa). Se excluyeron plantas como las mostradas en la figura 29.

FIGURA 29. Sistema radical de las plántulas de cafeto en vivero.[40]

Posteriormente las raíces de las plántulas se inocularon con microorganismos de montaña. El trasplante se realizó utilizando como herramienta una estaca para hacer un hoyo en el sustrato de la bolsa, posteriormente se aplicaba harina de rocas y se introducía la raíz de la planta

[39] Fuente: capturada en campo durante la colocación de bolsas y el sombreado.
[40] Fuente: Ordoñez (1992).

(figura 30). Durante el trasplante el sustrato de la bolsa debía de estar húmedo para no estresar a la planta por déficit de humedad.

FIGURA 30. Deformaciones de las raíces de plántulas de cafeto.[41]

Fertilización

Se aplicaron 15 kg de harina de roca (figura 31) en la preparación del sustrato para el llenado de bolsas y se aplicaron alrededor de 10 g de harina de rocas al momento del trasplante. Posteriormente de manera semanal se aplicaron microorganismos de montaña, microorganismos efectivos y aminoácidos en dosis al 1 %.

FIGURA 31. Aplicación de harina de rocas en el sustrato.[42]

[41] Fuente: capturadas en campo durante el trasplante de cafetos. La figura a muestra el ahoyado del sustrato de las bolsas, la b indica la aplicación de harina de rocas y la c indica el momento de trasplante.
[42] Fuente: capturada en campo durante la preparación del sustrato y trasplante de cafetos a bolsas. La figura a muestra la aplicación de harina de rocas en la preparación del sustrato y la b indica la harina de roca utilizada durante el trasplante.

Manejo de cafetales afectados por la roya de café

Implementación de podas

Ramírez (1996) menciona que el cafeto es una planta cuya producción de frutos se produce de forma distal; es decir, la cosecha de cada año se ubica en los nudos nuevos formados durante el periodo de crecimiento anterior. En cada ciclo los nudos productivos se localizan hacia el extremo de la rama, y sucesivamente hacia la parte axilar de la rama cada vez queda mayor área de tejido improductivo. Este comportamiento productivo del cafeto induce un agotamiento progresivo a través de varios ciclos de cosecha, lo que condiciona la productividad de la planta a la recuperación que permite el inicio de la poda.

La poda del cafeto es una práctica agronómica determinante para el manejo económico del cultivo. Esta práctica permite renovar el tejido agotado, regular el nivel de producción, ayudar al control fitosanitario y racionalizar el uso de insumos. Las condiciones de clima y suelos; así como, el nivel tecnológico usado en plantaciones de café, constituyen los factores esenciales a considerar para definir el sistema de poda que debe emplearse (Ramírez, 1996). De manera general la poda contempla tres tipos: a) poda de formación, b) poda de rejuvenecimiento, c) poda fitosanitaria. En el caso particular del cafeto, los tres tipos de poda mejoran la estructura del árbol de cafeto, facilitan la cosecha, mantienen un balance en el crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas disminuyendo el fenómeno de alternancia del cultivo (año on y año off), rompe ciclos biológicos de plagas y enfermedades (broca y roya por ejemplo) y aumenta el rendimiento (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Poda de formación

La poda de formación (figura 32) se realiza despuntando los arboles de cafeto a un altura apropiada para realizar otras actividades (cosecha, aplicación de productos) por lo general esta actividad se realiza en árboles que han alcanzado una altura de 2 m o menos. Al despuntar se interrumpe la dominancia apical de la yema principal que conduce al árbol de cafeto en crecimiento ortotrópico (crecimiento vertical) generando en las ramas laterales nuevos brotes (crecimiento horizontal o plagiotrópico) los cuales serán los encargados de generar ramas de

tipo secundario o terciario productivas, los cuales llegan a incrementar el rendimiento por árbol de cafeto de entre 1 a 2.5 kg de café cereza (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

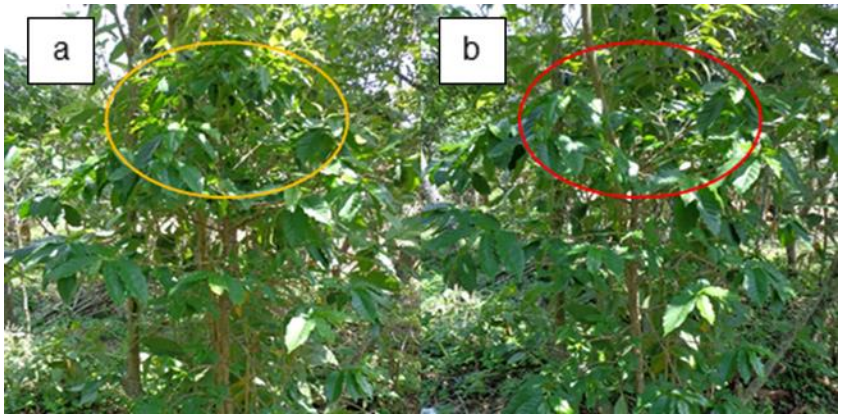

FIGURA 32. Poda de formación en cafeto (descope).[43]

Poda de rejuvenecimiento

La poda de rejuvenecimiento en cafeto es conocida como recepa, esta se realiza cuando lo cafetos se encuentran agotados (disminución en la producción); es decir, cuando en los árboles de cafeto presentan zonas improductivas bastante definidas, siendo los primeros síntomas la producción en la periferia de las ramas o bien en la parte más alta de los arbustos, una presencia de hojas disminuida (por afectaciones de plagas y enfermedades o simple avejentamiento) y ramas secas en abundancia (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

Este tipo de poda se debe realizar durante la estación seca del año (febrero-abril), inmediatamente después del último corte de la cosecha (en el mes de febrero) con lo que se obtiene un periodo libre de la enfermedad para con los brotes, al contar con las condiciones desfavorables para su desarrollo (principalmente de humedad), de esta forma los brotes crecerán sanos. Para obtener los mejores resultados en cuanto a brotación, se recomienda que esta práctica se realice durante las fases lunares de cuarto menguante a luna nueva; puesto que, la savia del cafeto se encuentra en la parte basal de la planta y permite de esta forma una mayor brotación al tener una mayor cantidad de savia elaborada en resguardo por el tallo podado. Así también es necesario que dicha práctica se implemente de mediante

[43] Fuente: capturada en campo. La figura a indica una planta completa y la b indica el descope.

sistemas de poda escalonadas (lotes, hileras alternas, sistema combinado) para no disminuir drásticamente la producción de café, con ello se restablece la producción en 2 años y se uniformiza aproximadamente a los 4 o 5 años. Este tipo de poda rompe con los ciclos de plagas y enfermedades del cultivo, al no estar presente el órgano de la planta al cual afectan (SAGARPA y COFUPRO, 2008; Ramírez, 1996).

La herramienta más utilizada para realizar la recepa de cafetos por parte de los productores es el machete; esta herramienta se utiliza para efectuar el corte de los tallos que en ocasiones se ven afectados al partirse, quedando cortes astillados e irregulares expuestos a infecciones por patógenos. Por otra parte existen herramientas como los serrotes o motosierras que permiten un corte regular y recto en los tallos. El corte de los tallos debe de realizarse a una altura superior a los 30 cm desde el nivel del suelo; para fines prácticos lo recomendado es realizarlo a la altura de la rodilla y de manera inclinada con orientación al este y que el corte quede expuesto a la luz solar (figura 33).

FIGURA 33. Recepa de cafetos.[44]

[44] Fuente: capturada en campo durante la recepa de cafetos. La figura a indica un lote podado y la b indica la altura del corte de poda (30-40 cm).

Poda fitosanitaria

La poda fitosanitaria o poda de saneamiento (figura 34) consiste en eliminar ramas enfermas o secas que son fuente de inoculo de plagas y enfermedades, con esta poda se disminuye la presencia de enfermedades principalmente. También permite una mejor brotación y se agiliza la aplicación de productos para el control de plagas y enfermedades además de reducir el gasto del producto a utilizar (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

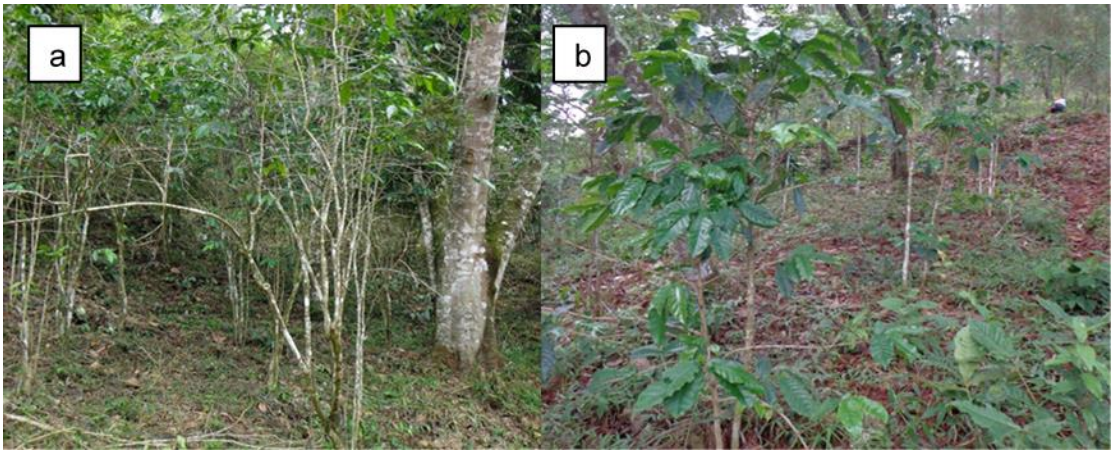

FIGURA 34. Poda fitosanitaria (poda de cariño).[45]

A razón de la problemática que envuelve a los productores de café del municipio de San Bartolomé Loxicha, se optó por establecer parcelas demostrativas para el manejo del cultivo de café, en donde se llevaron a cabo las prácticas agronómicas necesarias para conducir por un buen manejo al cultivo. Dentro de las prácticas más importantes que se llevaron a cabo se encuentra la poda, en cuyo caso resulta ser relevante para los cafetales de la comunidad, debido a que estos, se encuentran en un gran deterioro.

El tipo de poda que se implementó como la más necesaria para los cafetos, fue la poda de rejuvenecimiento o recepa en lotes de aproximadamente 800 m^2 por productor y en segundo lugar la poda fitosanitaria. Las podas se realizaron en los meses indicados en el cuadro 11 para las parcelas de 5 productores.

[45] Fuente: capturada en campo. La figura a indica la poda de cariño como comúnmente la realizan los productores (nótese el número de tallos por planta) y la b indica un ejemplo de la adecuada poda fitosanitaria, con cafetos de 1-2 tallos.

En la parcela 6[46] no se implementó ningún tipo de poda, debido a que se le dio prioridad atender a plantas de 2 años de edad en riesgo latente de contagiarse por *H. vastatrix.*

CUADRO 11. Fechas de poda en parcelas demostrativas.[47]

Parcelas	Mes de poda	Tipo de poda
1	Febrero	Recepa
2	Abril	Recepa y fitosanitaria
3	Marzo	Recepa
4	Abril	Recepa
5	Febrero	Fitosanitaria

Encalado y protección de cortes de la poda.

Después de haberse efectuado la recepa, lo recomendable es la protección de los cortes a través de la aplicación por medio de una brocha de pintura vinílica blanca, cal o una pasta cúprica (figura 35). De esta manera, se evita la infección del tocón con patógenos que provocan la muerte del tronco o bien la marchitez de los brotes y destrucción de sus sistema vascular o pudriciones radiculares.

FIGURA 35. Encalado de tocones.[48]

[46] Parcela 6= Rubén Jiménez Cortés.
[47] Fuente: elaboración propia. Parcelas: 1= Eleuterio Román Mendoza; 2= Paulino Cruz Zurita; 3= Crisóforo Gaspar Pacheco; 4= Calixto Pedro Román; 5= Celedonio Cortés Gaspar.
[48] Fuente: capturada en campo después de la recepa.

Mantenimiento de la sombra

El manejo de sombra en el cultivo de cafeto consiste en generar una entrada de luz adecuada hacia el estrato del cultivo para una mayor de fotosíntesis y; además para la regulación de temperatura y humedad en el estrato del cultivo con el fin de mantener condiciones inadecuadas para el desarrollo de enfermedades.

Esta actividad se debe realizar en la época seca del año o bien durante la época sonde se presenta un mayor crecimiento vegetativo de las especies de sombra. De manera específica, el manejo de la sombra no re refiere al talado de árboles, sino más bien, a eliminar ramas que produzcan sombra excesiva y dejar de manera estratificada las ramas de los árboles de sombra (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

De manera más específica al manejo de la sombra en el cafetal se le denomina alzado de sombra (figura 36) y se refiere a eliminar ramas secas y que proporcionen un exceso de sombra al cafetal dejando intactas las ramas que se encuentren por encima de los 2 m del estrato de la planta de café (SAGARPA y COFUPRO, 2008).

FIGURA 36. Alzado de sombra.[49]

[49] Fuente: capturada en campo.

Establecimiento de barreras muertas para el control de la erosión

Las barreras muertas son establecidas con los tallos y ramas de cafetos podados; así mismo, con las ramas podadas de los árboles de sombra (figura 37). La finalidad de las barreras es disminuir el efecto de la erosión del suelo por parte del agua en zonas donde la cubierta vegetal (viva o muerta) es poca o nula. A su vez retiene por efecto de las avenidas de agua una gran cantidad de suelo que a la larga formará pequeñas terrazas, en cuyo caso, se conseguirá una mejor topoforma del terreno.

La colocación de las ramas para formar una barrera muerta es mejor si se antepone a ello el trazado de curvas a nivel que permiten una mejor ubicación de la línea que seguirá la barrera de contención. El instrumento que mejor se adapta a las condiciones de los cafetales para el trazado de las curvas a nivel, es el nivel de manguera, el cual permite un mejor desplazamiento de quienes están trazando la línea de la curva a nivel evitando roces con árboles que impidan la colocación de estacas.

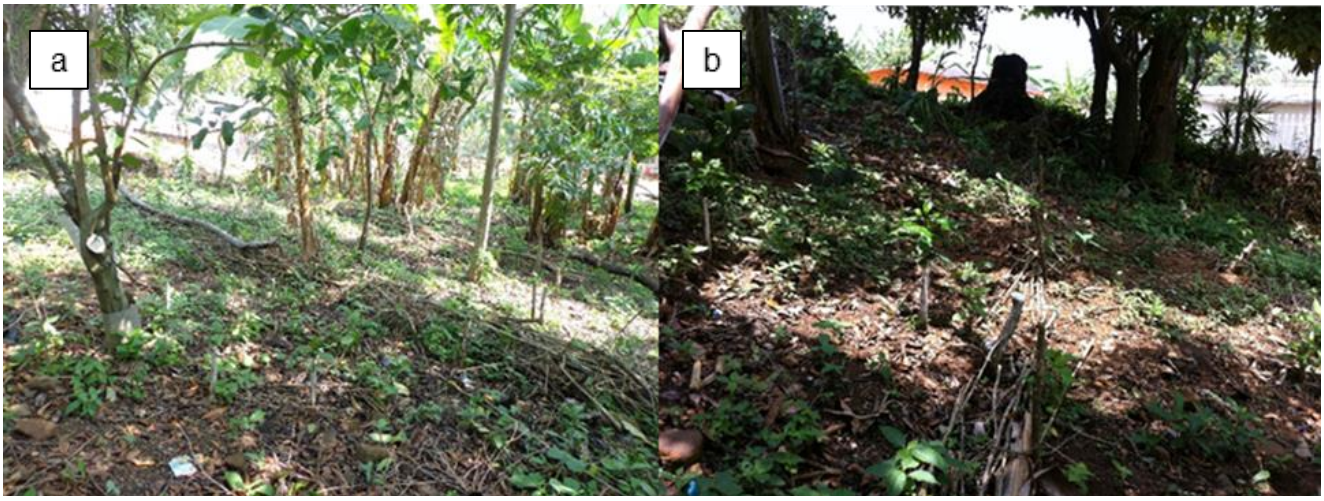

FIGURA 37. Barreras muertas realizadas con tallos y ramas de cafetos podados.[50]

[50] Fuente: capturada en campo.

Selección y raleo de brotes

Una vez iniciada la brotación en los tocones, lo ideal para el manejo de la plantación es hacer la selección o raleo de brotes. El raleo se realiza con el fin de evitar: problemas de competencia por nutrientes, agua y luz, rompimiento de tallos, enfermedades y un exceso de crecimiento vegetativo. A su vez se obtienen beneficios como: una mejor distribución de las ramas, mejor estrada y aprovechamiento de luz, crecimiento de brotes más equitativo, sanidad y un mejor desarrollo de los tallos y hojas.

La selección de brotes se debe de realizar en base al criterio de quién realiza la práctica; se pueden seleccionar de 1 a 4 brotes según su sanidad y ubicación. El raleo de los brotes puede comenzar a partir de que los nuevos tallos alcancen una altura de 5-10 cm, seleccionando aquellas que estén sanos, sin daños mecánicos, bien ubicados (de preferencia los que se encuentren en la parte media-superior) evitando aquellos ubicados en la parte basal o inferior cercanas al suelo, los cercanos al corte y los que se encuentren entre medio de dos tallos. Cabe destacar que el raleo de brotes en los tocones no abarca una fecha definida, más bien, esta práctica se debe realizar consecutivamente debido a que el cafeto tiende a emitir un gran número de brotes en distintas épocas.

Al realizar esta práctica de manera consecutiva se permite un mejor desarrollo de los brotes seleccionados anteriormente. En estados más avanzados de los cafetos (planta adulta), a esta práctica se le denomina deschuponado o desmamonado; no es común que los productores realicen esta práctica cuando el cafeto esta en este estado, lo cual provoca un desbalance nutricional y hormonal en el mismo, a su vez, se es afectado el crecimiento reproductivo puesto que el chupón adquiere mayor relevancia en la distribución de los carbohidratos en la planta.

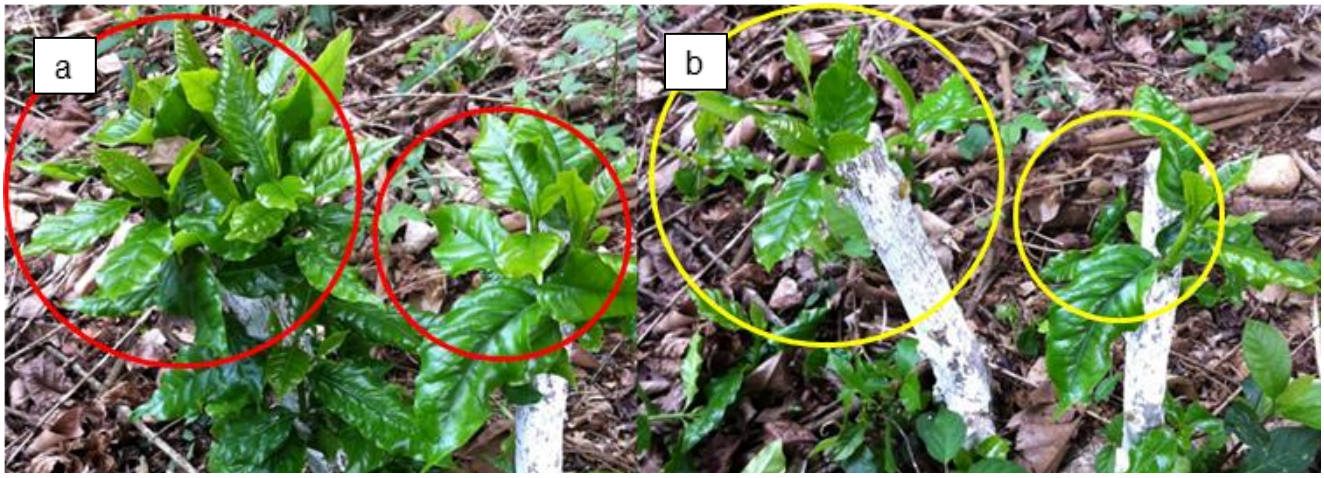

FIGURA 38. Selección de brotes.[51]

Sotomayor (1993) menciona que la selección de brotes se debe de comenzar pasado los 3 meses de haberse efectuado la recepa dejando de 5 a 7 brotes sanos, vigorosos, bien formados, y preferentemente distribuidos alrededor de la parte media del tocón. Al mes o dos meses después de efectuada la selección, se debe de realizar una segunda selección de brotes, dejando finalmente de 3-5 de los mejores brotes. El número de brotes a seleccionarse, está en relación con la distancia entre plantas, y las características agronómicas de la variedad empleada (porte alto, medio o bajo).

Si se establece una selección adecuada de brotes (4 brotes para una densidad de 2500 plantas/ha) permite obtener un 17 % más de rendimiento en relación a cafetos sin selección de brotes o de libre crecimiento, esto en un estudio realizado con la variedad Caturra rojo (Sotomayor, 1993).

[51] Fuente: capturada en campo. La figura a indica el estado de los brotes antes del raleo y la b indica la práctica de raleo y selección de brotes.

Prácticas para incrementar la fertilidad del suelo y mejorar la nutrición del cafeto.

Análisis de suelo y planta

Segura (2002) menciona que cualquier programa de fertilización o suplemento de fertilización debe estar basado en análisis que justifiquen su aplicación. Estos análisis pueden ser:

a. Análisis visual de síntomas de nutrimentos en la planta
b. Análisis de tejidos o extractos de plantas
c. Análisis de suelo o sustrato

Las mejores recomendaciones se obtienen a partir de los análisis de suelo y planta, debido a que se adquiere con detalle los niveles de nutrientes disponibles en el suelo, así también en la planta (diferentes estados fenológicos). Sin embargo, en condiciones específicas como el del municipio de San Bartolomé Loxicha, Oaxaca, donde la ausencia de laboratorios cercanos para análisis de suelos, planta y agua es una limitante para un adecuado manejo nutricional de los cafetos, principalmente a partir del análisis de plantas. Por ello, el análisis visual (identificación de deficiencias) es el más práctico para el manejo nutricional del cultivo, aunque carece de información respecto a los niveles de nutrimentos presentes en las plantas para complementar de manera exacta los niveles requeridos de nutrientes por los cafetos.

Deficiencias nutricionales

Los síntomas de deficiencias nutricionales pueden presentarse de diferentes maneras en las plantas. Algunas veces no se presentan decoloraciones del follaje, pero el crecimiento inicial es muy pobre; en otras, los síntomas aparecen solo en ciertas etapas fenológicas del cultivo. La presencia de anormalidades puede ser producto de una deficiencia nutricional o en algunos casos como consecuencia de bloqueos en los conductos vasculares de la planta y finalmente, sin la presencia clara de la deficiencia, el bajo rendimiento del cultivo, puede ser producto de una deficiencia oculta durante el desarrollo de la planta. Las deficiencias de los nutrientes en los cafetos se pueden caracterizar por síntomas específicos como los mostrados en las figuras 41, 42, 43, 44 y 45.

Nitrógeno

En hojas adultas se presenta como un amarillamiento o clorosis uniforme desde la base hacia el ápice y de la vena central hacia los bordes. Cuando la deficiencia es severa, la clorosis es más evidente y abarca todo el limbo. En hojas jóvenes, se presenta como una clorosis a lo largo de los bordes, semejando una cinta amarilla de aproximadamente 1 mm de ancho. Esta deficiencia se presenta primero en hojas viejas, además de que, los frutos de los cafetos se vuelven amarillos, crecen poco y se caen con facilidad (SQM-VITAS, 2015).

Fosforo

La deficiencia se presenta en las hojas como una clorosis leve, uniforme y de tono verde limón opaco, tornándose más amarillenta a un tono bronceado en hojas más viejas. Se presenta generalmente en hojas viejas. Las manchas son de diferente tamaño y pueden cubrir toda la hoja. En casos severos, se produce una caída total de las ramas que tienen frutos en maduración (SQM-VITAS, 2015).

Potasio

Se presenta generalmente en hojas viejas. Al principio aparece como un amarillamiento, que posteriormente se torna de color pardo oscuro, solamente en los bordes y en las puntas de las hojas viejas. Un hilo amarillento limita la necrosis del borde y del ápice foliar. Las hojas afectadas se enrollan hacia la cara superior. Un inadecuado aporte de K puede producir granos vacíos. En casos de una aguda deficiencia de K se llega a presentar defoliaciones (SQM-VITAS, 2015).

Azufre

Se presenta generalmente en hojas nuevas, las que presentan una coloración verde amarillenta que comienza a lo largo de la nervadura principal. Las nervaduras aparecen hundidas y las secciones que limitan sobresalen en relieve cóncavo. En hojas de mayor tamaño la clorosis se torna amarillenta. Las hojas afectadas tienen un aspecto moteado similar a los síntomas de deficiencia de Zn o Fe (SQM-VITAS, 2015).

Calcio

La deficiencia aparece en la parte superior de la planta. Las hojas jóvenes presentan un color verde pálido cerca de los bordes, y a lo largo de la vena central permanece el color verde. Los márgenes se ondulan. Las hojas adultas, sin llegar hasta la abscisión, quedan colgando hacia abajo. Cuando avanza la deficiencia las hojas toman la forma de cuchara, con márgenes irregulares. Se presenta pocas veces en el café y está asociada al cultivo en suelos rojos muy viejos o en suelos volcánicos muy meteorizados (SQM-VITAS, 2015).

Magnesio

Se presenta en hojas adultas como una clorosis, que en casos severos se torna de color amarillo mate. Se presenta generalmente en hojas viejas como manchas bronceadas. Las nervaduras principales siempre conservan el color verde. El amarillamiento empieza en la base de la rama y se va extendiendo hacia la punta provocando la pérdida de hojas (SQM-VITAS, 2015).

Hierro

Se presenta generalmente en hojas nuevas, estas son de tamaño mayor que el normal, y la planta muestra en su conjunto, una clorosis generalizada de color verde amarillento hasta blanquecino, sobre la que se destacan nítidamente las nervaduras color verde (SQM-VITAS, 2015).

Manganeso

Se presenta en los tejidos jóvenes de la planta, estas hojas son de tamaño desmesurado con clorosis parcial o total sobre la que se destaca un retículo banda fina color verde, que contiene las venas secundarias y terciarias. Ocurre en suelos de pH alto y se produce el amarillamiento total de las hojas de la punta de las ramas, con cierto moteado (SQM-VITAS, 2015).

Boro

Se presenta en tejidos jóvenes y generalmente aparece en épocas muy secas. Los síntomas característicos en hojas adultas son clorosis color verde aceituna mate, que se extiende del ápice hacia la base, abarcando un tercio o más de la hoja. Mientras que en hojas jóvenes se presenta como crecimiento en “palmilla”, que pueden aparecer cloróticas, permaneciendo las venas verdes. El amarillamiento se inicia en la punta y avanza hasta un poco más allá de la mitad de la hoja. Se forma tejido corchoso sobre las hojas; las hojas se deforman apareciendo torcidas, arrugadas o con bordes irregulares. Aparecen puntos de color café en las hojas tiernas y las ramas muestren un aspecto de abanico (SQM-VITAS, 2015).

Zinc

Se presenta generalmente en hojas jóvenes. Estas hojas crecen poco, en forma alargada y los bordes son ondulados; presenta una clorosis color verde pálido uniforme. Cuando la deficiencia progresa, ocurre crecimiento en roseta, con entrenudos cortos; la clorosis se acentúa y se localiza especialmente entre las venas secundarias. Se presenta en suelos con alto pH y en suelos erosionados con baja fertilidad. Generalmente los síntomas de deficiencia son más visibles en la punta de las ramas (SQM-VITAS, 2015).

Cloro

Se presenta como amarillamiento de las hojas a lo largo de la nervadura principal, además de muerte de las raíces. En las hojas nuevas, las nervuras quedan salientes. Puede tener deformación de la lámina. En plantas nuevas, las hojas se pueden curvar hacia abajo a partir de la base. Las posibles causas relacionadas a la deficiencia son la falta de K en el suelo, el exceso de materia orgánica y lluvias excesivas (SQM-VITAS, 2015).

Molibdeno

Se presenta en las hojas más viejas. Aparecen manchas amarillas y después pardas entre las nervuras. Con el tiempo, esas hojas se enrollan hacia abajo a lo largo de la nervadura principal y los bordes opuestos llegan a tocarse. La principal causa de deficiencia es la acidez del suelo (SQM-VITAS, 2015).

Requerimientos nutricionales del cafeto

Dependiendo del estado fenológico del cafeto, sus necesidades nutrimentales varían acorde a la demanda para satisfacer tanto el crecimiento vegetativo como el crecimiento reproductivo. Arcila *et al.* (2007) sostiene que en especies perennes como café, resulta complejo definir claramente la fase vegetativa del cultivo, debido a que la formación de órganos como hojas, raíces y nudos, puede ocurrir de manera simultánea con el crecimiento reproductivo durante toda la vida de la planta.

Carvajal (1984) indica en el cuadro 12 la extracción de nutrimentos del cultivo de café por hectárea para la formación de cada órgano de la planta.

CUADRO 12. Requerimientos nutricionales del cultivo café para la formación de organos.[52]

Parte de la planta	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg/ha					
Órganos hipogeos + tallo	19.30	2.80	32.90	11.80	2.80	2.80
Ramas	17.90	2.50	23.90	7.50	4.20	1.50
Follaje	66.40	12.60	56.80	23.60	8.50	3.50
Frutos maduros	37.00	3.30	43.30	4.10	4.20	3.10
Totales	**140.60**	**21.20**	**156.90**	**47.00**	**19.70**	**10.90**

De manera resumida en el cuadro 13 se presentan los requerimientos nutricionales para el cultivo del cafeto en sus diferentes etapas de crecimiento.

CUADRO 13. Requerimientos nutricionales del cafeto en crecimiento vegetativo y reproductivo.[53]

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg/ha					
Crecimiento vegetativo	103.60	17.90	113.60	42.90	15.50	7.80
Crecimiento reproductivo	37.00	3.30	43.30	4.10	4.20	3.10

[52] Fuente: Carvajal (1984)
[53] Fuente: modificado de Carvajal (1984).

Fertilizantes permitidos en la agricultura orgánica

Es importante una vez que se establece un vivero de café, una nueva plantación, o bien después de la poda de rejuvenecimiento definir una adecuada nutrición de las plantas. Para ello existen diversas fuentes de nutrientes para las plantas que dependan de su utilización según las normas orgánicas del organismo certificador que mejor convenga al productor.

IFOAM (2005) menciona que agricultura orgánica debe retornar al suelo material microbiano, vegetal o animal, para incrementar o al menos mantener, su fertilidad y actividad biológica. Para ello los materiales biodegradables de origen microbiano, vegetal o animal generados por las prácticas orgánicas, debieran constituir las bases del programa de fertilidad, mismos que el productor deberá manejar mediante la incorporación continua de materia y la estimulación de la actividad biológica. Así mismo, los recursos de nutrientes deberán ser usados de manera sustentable y responsable. Se deberán minimizar las pérdidas de nutrientes desde la unidad de producción agrícola al medio ambiente natural (IFOAM, 2005).

Bajo un enfoque de agricultura orgánica se deberán utilizar los recursos naturales disponibles (leguminosas y los subproductos orgánicos tales como: estiércoles, residuos de cosecha y de poda). De preferencia debe emplearse el material orgánico generado en la misma unidad de producción orgánica, si el material proviene de fuera, deberá ajustarse a las normas correspondientes (ver cuadros 42, 43, 44, 45, 46 y 47 de anexos). No está permitido el uso de materia orgánica procedente de unidades de producción convencionales intensiva. Los materiales orgánicos vegetal y animal no deben contribuir a la contaminación de las cosechas, el suelo o agua (IFOAM, 2005 y CERTIMEX, 2014).

Los fertilizantes minerales y acondicionadores del suelo, deben considerarse como suplementos y en ningún momento pueden sustituir el reciclado de nutrientes. Si los fertilizantes minerales se usan, tienen que aplicarse en su forma natural sin previo tratamiento químico, asegurando que estos productos no generen efectos negativos para el medio ambiente, ni contribuyan a su contaminación. Está prohibido aplicar directamente sobre vegetales para consumo humano abonos que contengan excrementos y orina humanos (IFOAM, 2005 y CERTIMEX, 2014).

Previa determinación de la dosis adecuada, se permite la corrección del pH del suelo con cal agrícola para suelos ácidos y con polvo sulfúrico para suelos alcalinos. Se debe documentar el origen y las aplicaciones de los insumos mencionados. Podrán utilizarse las preparaciones adecuadas de microorganismos para mejorar las condiciones generales del suelo o la disponibilidad de nutrientes en el suelo o en los cultivos. Se deberán utilizar formas naturales para la transformación de la materia orgánica. Para la activación del compost podrán utilizarse preparados adecuados a base de plantas o preparados de microorganismos (IFOAM, 2005 y CERTIMEX, 2014).

Estiércol crudo de animal, este se deberá convertir en abono a menos que se aplique en el suelo para obtener una cosecha no destinada para el consumo humano, o bien, que se incorpore dentro del suelo en un lapso de tiempo no menor a 120 días antes de cosechar un producto cuya parte comestible tenga contacto directo con la superficie del terreno o partículas del suelo (ejemplo hortalizas) y casos específicos que se incorpore dentro del suelo en un lapso de no menos de 90 días antes de cosechar un producto cuya parte comestible no tenga contacto directo con la superficie del terreno o partículas del suelo (por ejemplo frutales, café, cacao, etc.) (CERTIMEX, 2014)

Fuentes para la remineralización de suelos y fertilización edáfica

Las fuentes de nutrimentos para la remineralización de los suelos cafetaleros permitidos por las normas orgánicas internacionales (CERTIMEX, 2014; IFOAM, 2005) y recomendadas por Noriega *et al.* (2014) y el CIIDRI a través de estudios realizados en la región Loxicha del estado de Oaxaca son:

Dolomita

Se trata de un carbonato doble de calcio y magnesio, su fórmula química es $CaMg(CO_3)_2$, fue descubierto en 1988-1989 por el geólogo y mineralogista francés Deonet de Dolomieu. Como impurezas puede contener Hierro y manganeso. Su color varía entre blanco, gris, rosado, rojizo, negro, a veces con matices amarillentos, parduzco o verduzco, predomina el incoloro o blanco a grisáceo. En la agricultura, es una fuente de magnesio y calcio (cuadro 48), constituye

un mejorador indispensable al modificar el pH del suelo, logrando regular su acidez, beneficiando e incrementando el rendimiento de los cultivos (CGM, 2012).

Zeolita.

Son el resultado de la descomposición de minerales tales como la nefelita, leucita, sodalita y los feldespatos. Sus asociados normalmente son la calcita, dolomita y pectolita (Kraus *et al.,* 1959). La zeolita presenta un concentrado alto en silicio (cuadro 49), que tiene un efecto esencial en la nutrición, desarrollo y producción de plantas gracias a que mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Montalvo *et al*., 1991; citado por Díaz *et al*., 2009), reduce la densidad aparente del suelo, lográndose un incremento de producción en la cosecha de los cultivos, y sobre todo, reduce el impacto ecológico negativo. Su aplicación incide en la reducción de las pérdidas del nitrógeno en los suelos, lo cual incrementa el aprovechamiento de este elemento por los cultivos. También logra mejorar las propiedades nutritivas y nutracéuticas de los alimentos, inclusive alarga la vida de anaquel y la resistencia de la fruta a conservarse en el árbol (Coello y Osorio, 2003; citado por Díaz *et al*., 2009). En cuanto al pH, la zeoita tiene un efecto centralizador que reduce la acidez del suelo y los excesos de hierro y aluminio, además de ser un buen catalizador en el suelo (Gómez, 2001).

Leonardita

La Leonardita es una sustancia vegetal humificada, muy rica en materia orgánica, en un estado intermedio de transformación entre la turba y el lignito (cuadro 50). Tiene su origen en el enterramiento de materiales vegetales desde hace millones de años y suele encontrarse en las capas superiores de las minas a cielo abierto de lignito (carbón). Este material ofrece grandes beneficios al ser aplicada a los suelo como lo son la reducción de compactación, disminuye la salinidad, favorece la aireación y porosidad, ayuda a la retención del agua y de los minerales suministrados ya que confiere un alto poder de quelatación de cationes. Facilita el suministro de oxígeno a los microorganismos como micorrizas y *Azotobacter* sp. y presenta un efecto positivo en la fisiología de la planta debido a la concentración de ácidos húmicos (Murillo, 2015).

Roca fosfórica

La aplicación de roca fosfórica tiene un efecto sobre el crecimiento de las plantas y en el rendimiento de los cultivos en calidad y cantidad, como resultado no sólo del aporte de fósforo (cuadro 51), sino también del incremento del calcio intercambiable de la reducción de la saturación del aluminio (Zapata y Roy, 2007). También proporciona una resistencia al ataque de plagas y enfermedades, fomenta la fructificación, ayuda a las bacterias fijadoras de nitrógeno como *Azospirillum* sp, *Rhizobium* sp, *Azotobacter* sp, *Nitrococus* sp. entre otras. Gran parte del fosforo solubilizado es por ácidos orgánicos provenientes de la microbiología del suelo debido a la acidificación en la rizósfera de la planta y la capacidad de formar complejos estables con el aluminio y hierro (Gyaneshwar *et al*., 2002; citado por Aguado 2012).

Vermicomposta a partir de pulpa de café

La pulpa es el principal subproducto que se obtiene en el proceso de "despulpado" de los frutos de café. Está formada por el exocarpio y parte del mesocarpio, ambos representan en base húmeda cerca del 41 % en peso del fruto, (Montero, 1992; citado por Alfaro, 1997).

Para que la pulpa pueda usarse como abono es necesario que pase por el proceso de composteo. El composteo se define como un proceso de descomposición microbiológica realizado principalmente por hongos y bacteria que fermentan aeróbicamente los materiales orgánicos (pulpa) durante el cual ocurren cambios bioquímicos, hasta obtener un producto terminado muy cercano al humus natural que se denomina composta, (Ruíz, 1999; Romero, 2000).

Cuando se hace uso de la lombriz para la desintegración y descomposición de la fuente de materia orgánica, el proceso se denomina lombricomposteo y el resultado es la lombricomposta. Esta ecotecnología fue propuesta por vez primera en 1985 en México, para transformar la pulpa de café en abono orgánico. Las lombrices más utilizadas son de las especies *Eisenia fetida, Eisenia andrei* y *Perionyx excavatus* (Aranda y Barois, 1999).

En el sentido de que es necesario el conocer algunos parámetros de la cantidad de nutrientes que puede aportar la pulpa de café Sadeghian *et al.* (2006) mencionan que las cantidades de nutrimentos extraídas por la almendra, el pergamino y el mucílago son removidas del terreno sin la posibilidad (en muchos casos) de que se reincorpore mediante abonos orgánicos, mientras que en el caso de la pulpa pueden retornar al cultivo cuando se emplea como abono orgánico (vermicomposta). En este sentido Sadeghian *et al.* (2006), indican en el cuadro 14 las cantidades de nutrientes que pueden aportar cada 1,000 kg de pulpa fresca, por su parte Carvajal (1984), reporta valores comparables para el N, K_2O y P_2O_5.

CUADRO 14. Aporte nutrimental de la pulpa fresca de café.[54]

Nutrientes	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**	**CaO**	**MgO**	**SO_4**
Cantidad (kg)*	3.76	0.52	8.75	0.80	0.31	0.13
Cantidad (kg)**	3.74	0.88	7.02			

Al respecto, cabe aclarar que pueden ocurrir pérdidas de elementos después del despulpado y durante el composteo ya que la pulpa en su rápida descomposición libera una solución acuosa rica en nutrientes, especialmente K.

Se observa en el cuadro 15, que la pulpa de café es un producto ligeramente ácido, con una humedad relativa se encuentra cerca del 63 %, mantiene un nivel de materia orgánica cercano al 72 %, una relación de C/N de 13 % (aceptable), entre otros valores. Si se considera que el K solo se puede encontrar en forma inorgánica o mineral, tal como las plantas asimilan los nutrimentos, entonces es importante su aporte nutrimental considerado dentro de los macronutrimentos que la planta necesita.

Ante la posibilidad de que se pueda implementar la tecnología de la vermicomposta en los cafetales resultaría prácticamente exitosa y también se podría complementar con algunos otros materiales resultantes del cafetal (desechos de frutales) o bien excremento animal.

[54] Fuente: * Sadeghian *et al.* (2006) y ** Carvajal (1984).

CUADRO 15. Calidad química y bioquímica de la lombricomposta de pulpa de café.[55]

Propiedad y/o característica	Unidad	Valor	Propiedad y/o característica	Unidad	Valor
Humedad relativa	%	63.09	Fe	ppm	9250.73
Solidos totales	%	36.91	Mn	ppm	982.81
pH		6.02	Zn	ppm	886.46
N total	%	3.30	Cenizas	%	28.21
N-NO3	ppm	1806.57	Materia orgánica	%	71.79
N-NH4	ppm	652.85	Carbono total	%	41.64
N mineral	%	0.25	Relación C/N		12.62
N orgánico	%	3.05	Cafeína	%	0.008
P total	%	0.26	Taninos	%	0.007
P inorgánico	%	0.14	Humina	%	83.95
P orgánico	%	0.11	Ácidos húmicos (AH)	%	10.45
Ca	%	1.60	Ácidos fúlvicos (AF)	%	5.60
Mg	%	0.75	Relación AH/AF		1.88
Na	%	0.07	Fosfatasa acida	U/g	8.49
K	%	0.53	Fosfatasa alcalina	U/g	3.88
Cu	ppm	19.67	Ureasa	U/g	0.17

Fuentes para la fertilización foliar

Molina (2002 a) menciona que las características principales que debe tener una fuente para el abonamiento foliar es que sea muy soluble en agua y que no cause efecto fitotóxico al follaje. Las fuentes de fertilizantes foliares se pueden dividir en dos grandes categorías: sales minerales inorgánicas, y quelatos naturales y sintéticos, que incluye complejos naturales orgánicos. En el caso de las sales minerales inorgánicas su uso está restringido en la agricultura orgánica de acuerdo a las normas de los organismos certificadores (cuadro 45).

Quelatos

Los quelatos son sustancias que forman parte de muchos procesos biológicos esenciales en la fisiología de las plantas, como por ejemplo en el transporte de oxígeno y en la fotosíntesis. Muchas de las enzimas catalizadoras de reacciones químicas son quelatos. Otros ejemplos de quelatos biológicos naturales incluyen a la clorofila y la vitamina B12 (Molina, 2002 a).

[55] Fuente: Irisson *et al.* (1999)

Un quelato es un compuesto orgánico de origen natural o sintético, que puede combinarse con un catión metálico y lo acompleja, formando una estructura heterocíclica. Los cationes metálicos son ligados en el centro de la molécula, perdiendo sus características iónicas. El quelato protege al catión de otras reacciones químicas como oxidación-reducción, inmovilización, precipitación, entre otros. Los quelatos para utilización en fertilizantes foliares pueden dividirse en tres categorías: sintéticos, orgánicos de cadena corta, y orgánicos naturales (Molina, 2002 a).

Los quelatos sintéticos usualmente tienen una alta estabilidad. Uno de los primeros agentes sintéticos utilizados en fertilización foliar fue el ácido etil-endiamino tetracético (EDTA). Los quelatos orgánicos de cadenas cortas son agentes acomplejantes muy débiles, de poca estabilidad y baja efectividad. Algunos ejemplos son los ácidos cítrico, ascórbico y tartárico (Molina, 2002 a).

Los quelatos orgánicos naturales presentan diferentes grados de efectividad como agentes quelatantes, ubicándose la mayoría de ellos como acomplejantes intermedios. Estos agentes incluyen poliflavonoides, lignosulfatos, aminoácidos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, polisacáridos, etc (Molina, 2002a).

En los últimos años estas fuentes han tomado gran interés debido a su naturaleza orgánica y que la mayoría son de origen natural. Poseen poco riesgo de causar fitotoxicidad, lo que los hace más apropiados para aplicación foliar, y muchos de ellos tienen propiedades estimulantes del crecimiento y desarrollo vegetal. Los ácidos húmicos y fúlvicos y los aminoácidos o proteínas hidrolizadas, son algunos de los quelatos orgánicos más utilizados (Molina, 2002 a).

Ácidos húmicos y fúlvicos

Los ácidos húmicos y fúlvicos son agentes naturales quelatantes de metales catiónicos, por lo que son utilizados para la nutrición mineral de los cultivos debido a la acción acomplejante que ejercen sus grupos funcionales carboxílicos (COOH) e hidroxílicos (OH). Constituyen una alternativa eficaz para la nutrición foliar de los cultivos, no solo por su capacidad de acomplejar cationes, sino además por los efectos estimulantes del crecimiento vegetal y su facilidad para incrementar la absorción foliar. Como desventajas con relación a otras fuentes, los ácidos

húmicos por lo general son de mayor costo que las sales y de menor concentración de nutrimentos debido a su capacidad más limitada para acomplejar cationes (Molina, 2002 a).

Aminoácidos

El uso de aminoácidos en fertilización foliar es relativamente reciente y se inició a partir del desarrollo de tecnología para la fabricación de aminoácidos libres mediante diferentes procedimientos entre los que se destacan principalmente: a) síntesis química, b) fermentación bacteriana, c) hidrólisis ácida, d) hidrólisis enzimática. El principio básico que utiliza esta tecnología para la fabricación de fertilizantes foliares es la formación de proteínas hidrolizadas en las que se incorporan los nutrimentos catiónicos como Ca, Mg, K, Fe, Cu, Zn y Mn. Estos minerales quedan suspendidos entre dos aminoácidos que conforman los grupos donadores y uno de ellos, generalmente un grupo amino (NH2), forma un enlace covalente complejo, mientras el otro grupo carboxílico (COOH) forma un enlace iónico (Molina, 2002 a).

La mayoría de los quelatos de aminoácidos son de bajo peso molecular, lo que en teoría favorecería también la entrada del quelato a través de la cutícula, las paredes celulares y las membranas celulares. Una de las ventajas más reconocidas de los aminoácidos es su rápida absorción, que en algunos casos oscila entre 1-3 horas para completar el 50 de absorción. Otro principio que utiliza esta tecnología es que la planta recibe aminoácidos biológicamente activos de rápida absorción y translocación, lo cual reduce el gasto de energía metabólica por parte de la planta en la síntesis de proteínas. También se le atribuyen propiedades bioestimulantes en el crecimiento vegetal. Algunas desventajas de estos productos son su costo elevado en comparación con otras fuentes y su baja concentración de nutrimentos (Molina, 2002 a).

Ante la necesidad de incorporar al manejo integral del cultivo de café el uso de fertilizantes foliares orgánicos para mantener un estado nutricional adecuado para el cultivo, el CIIDRI a través del Centro de Investigaciones en Agricultura Sustentable y Educación Ambiental "Tierra Prieta", propone de acuerdo a análisis de laboratorio, los foliares “Gume”, lixiviado de lombriz y caldo ceniza (cuadros 16,17 y 18). Además de la incorporación de otros productos como son: silicio soluble y aminoácidos aún en desarrollo y por patentar.

CUADRO 16. Contenido de nutrientes del foliar orgánico "Gume".[56]

pH	CE	N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	dSm^{-1}	$mg.L^{-1}$	$mg.L^{-1}$	$mg.L^{-1}$	$meq.L^{-1}$							
6.67	46	1.6	941.6	0.23	0.25	1.98	0.59	0.48	194	0.12	428.5	79.71

CUADRO 17. Contenido de nutrientes de lixiviado de lombriz.[57]

pH	CE	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	dSm^{-1}	$mg.L^{-1}$									
9.53	9.33	509	151.6	1760	84.85	280.5	9.0	3.75	13.3	6.0	32.43

CUADRO 18. Contenido de nutrientes del caldo ceniza.[58]

pH	CE	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	dSm^{-1}	$mg.L^{-1}$									
10.62	43.9	380	280.7	12660	396.3	366.6	12.6	2.15	13.45	7.3	79.7

Remineralización de suelos y fertilización edáfica.

Para la remineralización de suelos, Noriega *et al.* (2014) propusieron mediante estudios específicos de suelos de la región Loxicha una mezcla mineral (cuadro 19), la incorporación de 2 t de humus/ha y el uso de microorganismos benéficos que incluyen a *Azotobacter* y *Glomus intraradices* (fijación biológica de N y P) para la fertilización del cultivo de café.

CUADRO 19. Mezcla mineral propuesta por Noriega *et al.* (2014) para café.[59]

Mineral	Cantidad (kg)
Dolomita	200
Zeolita	100
Roca fosfórica	50

[56] Fuente: análisis de laboratorio del foliar orgánico.
[57] Fuente: análisis de laboratorio del lixiviado de lombriz.
[58] Fuente: análisis de laboratorio del caldo ceniza.
[59] Fuente: Noriega *et al.* (2014)

A través de los estudios de Noriega *et al.* (2014), el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral (CIIDRI) propone una nueva mezcla de minerales (cuadro 20), en cuyo caso se incorporan a la mezcla, 100 kg del material denominado leonardita (rico en ácidos húmicos) y 50 kg más de roca fosfórica. Esta mezcla está recomendada para una ha de café.

CUADRO 20. Mezcla mineral propuesta por el CIIDRI para café.[60]

Mineral	Cantidad (kg)
Dolomita	200
Zeolita	100
Leonardita	100
Roca fosfórica	100

La aplicación de la harina de roca se realiza en banda o bien en el área de goteo del café (1 m de diámetro) para sitios con poca pendiente. En terrenos con pendientes fuertes se pueden aplicar en media luna. Es indispensable que se realice un deshierbe alrededor del área de goteo del cafeto para después incorporar la mezcla mineral. También estas aplicaciones se pueden complementar con la adición de materia orgánica; en este caso, el uso de composta o vermicomposta son los más recomendados. La aplicación de los minerales como la composta o vermicomposta deben de ir mezclados y realizarse por lo menos 2 meses antes del inicio de la temporada de lluvias, para permitir una mejor incorporación al suelo de los materiales. La aplicación de la mezcla mineral se realiza cada 2 años con el objetivo de regular el pH, la C. I. C., y restaurar al suelo minerales que se encontraban escasos o poco disponibles y mejorar en lo posible los suelos como lo indica Restrepo (2007).

Ante el uso de la vermicomposta a partir de pulpa de café, Alfaro (1997), señala que aplicaciones entre 5 y 10 kg de pulpa de café por planta por año, aumenta entre el 80 y 200 % en rendimiento del cafeto, mientras que Julca y Solano (2002) al evaluar sustratos en el crecimiento de café var. Caturra amarillo, encontraron que la pulpa de café mezclada con suelo de bosque proporciona los mejores resultados en altura, diámetro del tallo, peso fresco y seco por la planta; otros estudios realizados por Ossom *et al.* (2001) y Badran, *et al.* (1999) en papa

[60] Fuente: CIIDRI (2014).

y desechos industriales, encontraron que la aplicación de pulpa de café aumenta la concentración de K, Ca, y Mg, reduce la acidez del suelo y mejora la concentración, movilidad y solubilidad de Fe y Mn en el suelo.

De acuerdo con Sosa *et al.* (1999), la aplicación de abono orgánico está en función de la disponibilidad de material, sin embargo, las cantidades y dosis deben considerar los siguientes factores: fertilidad natural de los suelos, pendiente del terreno, clima, edad y estado vegetativo de los cafetos, cantidad de la cosecha producida, tipo de abono y cantidad disponible. Los productores orgánicos aplican de 3 a 10 kilogramos de abono por planta cada año o bien cada dos años.

La preparación y aplicación de abono orgánico es una práctica efectiva, los cafetos responden muy bien y se incrementa considerablemente el rendimiento. Sin embargo es una actividad que demanda gran esfuerzo al productor, abonar tan solo mil matas de café con tres kilogramos de material composteado cada una, requiere la elaboración, acarreo y aplicación de tres toneladas de abono, actividad que resulta difícil para muchos productores y particularmente en terrenos de ladera (Sosa *et al*., 1999).

Fertilización foliar en café

La fertilización foliar por lo general se realiza para corregir deficiencias de elementos menores. En el caso de macronutrimentos tales como el nitrógeno, fósforo y el potasio, se reconoce que la fertilización foliar solo puede complementar, pero en ningún momento sustituir la fertilización al suelo. Esto se debe a que las dosis a aplicar vía foliar son muy pequeñas en comparación con las dosis aplicadas al suelo para obtener buenos rendimientos. Aun cuando la fertilización foliar es complementaria, existen condiciones bajo las cuales la fertilización permite obtener buenos resultados agronómicos. Estas situaciones especiales son aquellas que resultan en limitantes para la nutrición mineral de la planta debido a problemas del sistema radical. La sequía es la primera de ellas y se produce cuando el suministro de agua es deficiente, afectando la alimentación radicular y produciendo trastornos severos en el desarrollo vegetal. Bajo esta situación, la absorción radical de nutrimentos es limitado y será necesario utilizar entre tanto, la vía foliar (Segura, 2002).

Contrario a la falta de agua, el exceso o encharcamiento produce poca disponibilidad de oxígeno en el medio radicular inhibiendo de forma inmediata la absorción de agua y nutrimentos por la planta, siendo la fertilización foliar una alternativa para nutrir a la planta. La aplicación de nutrimentos vía foliar, en particular de nitrógeno, permitirá restaurar el adecuado balance nutricional en la planta. Un pobre desarrollo radical producto de problemas por toxicidad de aluminio, por compactación de suelo o por un nivel freático muy alto, son otros de los factores que afectan la absorción de nutrimentos por la planta y convierten a la fertilización foliar en un medio importante para complementar la nutrición mineral de los cultivos. De acuerdo con el propósito que se persigue, la fertilización foliar se puede dividir en seis categorías (Boaretto y Rosolem, 1989; citados por Segura, 2002).

a. **Fertilización correctiva: e**s aquella en la cual se suministran elementos para superar deficiencias evidentes, generalmente se realiza en un momento determinado de la fenología de las plantas y su efecto es de corta duración cuando las causas de la deficiencia no son corregidas (Segura, 2002).
b. **Fertilización preventiva:** se realiza cuando se conoce que un determinado nutrimento es deficiente en el suelo y que a través de esta forma de aplicación no se resuelve el problema; un ejemplo de esto es la aplicación de Zn y B en café (Segura, 2002).
c. **Fertilización sustitutiva:** se pretende suplir las exigencias del cultivo exclusivamente por vía foliar. En la mayoría de los casos es poco factible suplir a las plantas con todos sus requerimientos nutritivos utilizando exclusivamente la vía foliar, debido a la imposibilidad de aplicar dosis altas de macronutrimentos. En el cultivo del café el uso de solamente fertilizantes foliares sin abonamiento al suelo (seis aplicaciones por año), se ha obtenido una producción 18 % en relación con la fertilización al suelo (Segura, 2002).
d. **Fertilización complementaria:** consiste en aplicar una fracción del abono al suelo y otra al follaje, generalmente se utiliza para suplir micronutrimentos y es uno de los métodos más utilizados en una gran cantidad de cultivos (Segura, 2002).
e. **Fertilización complementaria en estado reproductivo:** Puede realizarse en aquellos cultivos anuales en los cuales durante la floración y llenado de las semillas, la fuerza

metabólica ocasionada por ellos, reduce la actividad radicular lo suficiente como para limitar la absorción de iones requeridos por la planta (Segura, 2002).

f. **Fertilización estimulante:** consiste en la aplicación de formulaciones con N, P y K, en las cuales los elementos son incluidos en bajas dosis, pero en proporciones fisiológicamente equilibradas, las cuales inducen un efecto estimulatorio sobre la absorción radicular. Este tipo de abonamiento es recomendado en plantaciones de alta productividad, de buena nutrición y generalmente se realiza en períodos de gran demanda nutricional, o en períodos de tensiones hídricas (Segura, 2002).

La fertilización foliar de café ha sido tradicionalmente para suplir B y Zn, dos elementos que usualmente son deficientes en el cultivo. La nutrición foliar del café debe verse como un complemento al abonamiento al suelo y en ningún caso como un sustituto del mismo. Las recomendaciones generales son de 2-3 aplicaciones de abonos foliares que suplan principalmente B y Zn distribuidas en la época lluviosa (Molina, 2002 b).

En café se aplica el criterio de fertilización foliar preventiva y complementaria en estado reproductivo. Los primeros estudios realizados con B en Costa Rica mostraron respuesta a su aplicación en café (Pérez, Chaverri y Bornemisza 1956; citados por Molina, 2002 b).

La respuesta a aplicaciones de Zn al suelo y foliar también ha sido evaluada y los resultados del estudio más reciente (Fonseca y Obando, 2000) donde la respuesta a la aplicación foliar y al suelo hubo respuesta significativa a la aplicación al suelo de 25 kg/ha de sulfato de Zn. Además de que los tratamientos de fertilización foliar superaron al testigo y presentaron valores muy similares entre sí (Molina, 2002 b).

Las recomendaciones generales mencionan como fuentes de B el ácido bórico en dosis de 0,5 kg/200 L (0.25 %), o los boratos de sodio como el poliboro. Este último incrementa el pH del caldo de aplicación por lo que se recomienda utilizar un estabilizador de pH como el ácido cítrico. Para el caso del Zn, las recomendaciones del ICAFE muestran preferencia por los quelatos (Chaves, 1999, citado por Molina, 2002 b), entre los que se mencionan los de EDTA y aminoácidos.

La fertilización foliar se distribuye en 3-4 aplicaciones al año, iniciando la primera en prefloración o inicios de floración, la segunda en post floración o inicio de formación de frutos,

y las dos siguientes durante el período de llenado de frutos. La aplicación de foliares también se realizan junto con la de productos fitosanitarios, especialmente los fungicidas utilizados para el control de enfermedades. Otros elementos importantes de suplir como fertilización complementaria en estado reproductivo son Ca, Mg y K. Se ha observado que en plantaciones de alta productividad sembrados en suelos volcánicos o ácidos, las deficiencias de Mg y K pueden aparecer durante el proceso de llenado de frutos, causando defoliación y caída de frutos en las bandolas. La fertilización foliar con estos elementos puede ser de gran ayuda para prevenir este problema (Molina, 2002 b).

También, en el cultivo de café se efectuó una curva detallada de la absorción de nutrientes durante el proceso de desarrollo del fruto (cuadro 21), de modo que fue posible establecer con claridad que entre los 60 y 90 días después del pico de máxima floración, es el momento en que se produce el consumo más fuerte de nutrientes. Para este momento todos los elementos, excepto el K, han sido consumidos en un 50 % del requisito total. Otra observación relevante que se desprendió de este estudio es que el fruto completa el consumo de tres micronutrientes, Zn, Fe y Cu antes de empezar la maduración, por lo que resulta poco estratégico realizar aplicaciones tardías (posteriores a 6 meses después del pico de floración) de estos elementos (Molina, 2002 b).

CUADRO 21. Aplicaciones de fertilizantes foliares durante el desarrollo de frutos.[61]

Fecha de aplicación			Importancia de nutrimentos a aplicar		
Días	**Semanas**	**Meses**	**Prioritarios**	**Secundarios**	**Terciarios**
40-45	6	1.5	Ca		
60-75	11	2.5	Ca, Zn, B	Mg	N, K
100-110	15	3.5	Zn, B	Cu, Fe	Mg, S
200-210	28	6.5	K, N	B, Mg	

[61] Fuente: Molina (2002 b).

Manejo de biodiversidad edáfica para incrementar la fertilidad

La Revolución Verde, se apoyaba en la superación de las limitaciones edáficas aplicando insumos externos como los fertilizantes inorgánicos y otras enmiendas para suplir las necesidades de las plantas (Sánchez, 1994; citado por Brown *et al.,* 2007). Sin embargo, la mayoría de los agricultores del mundo no tiene acceso o no tiene con qué comprar los insumos externos (productos químicos agrícolas, variedades de cultivos mejoradas, semilla de híbridos, acceso fácil de créditos y efectivo) necesarios para aplicar los principios y las prácticas de la agricultura de altos insumos externos (Vandermeer *et al*., 1998; citado por Brown *et al.,* 2007).

En la agricultura comercial, el conocimiento del papel desempeñado por algunos organismos de la biota edáfica es aún más limitado que en los sistemas de subsistencia de los pequeños agricultores por las prácticas de manejo intensivo, orientadas al aumento de la producción, que generalmente dejan de lado los mecanismos biológicos y sus interacciones a favor del uso de insumos externos (especialmente plaguicidas y herbicidas en vez del control biológico de plagas y malezas, y fertilizantes químicos en vez de la restauración de la materia orgánica) (Brown *et al.,* 2007)

Los agricultores y los profesionales de la agricultura de diversas culturas, tanto tradicionales como modernas, aún no reconocen adecuadamente los roles y la importancia de la biota edáfica en la producción agrícola (Kevan 1985; Puentes y Swift 2000; citados por Brown *et al.,* 2007).

El primer paso hacia un manejo apropiado y la conservación de los recursos es reconocer que la biota edáfica desempeña un rol clave en el sostenimiento de la producción agrícola, en tanto que:

a. Los organismos del suelo y los procesos biológicos desempeñan un papel importante en la creación y regulación de la fertilidad del suelo.
b. Una diversidad de organismos crea y modifica una variedad de funciones y procesos edáficos.
c. Una diversidad de funciones y procesos son esenciales para mantener la fertilidad y la productividad del suelo.

d. Los organismos del suelo se pueden manipular en los agroecosistemas mediante intervenciones directas en indirectas.

Swift (1999; citado por Brown *et al.,* 2007) propuso una serie de puntos de partida potenciales de los cuales se podrían implementar las prácticas de manejo, en relación con las diferentes posibilidades de manejo biológico del suelo.

a. Diseño y manejo del sistema agrícola: selección de plantas y su organización espacial y temporal (indirecta).
b. Control genético de la función del suelo mediante la manipulación de la resistencia de las plantas a las enfermedades, de los residuos y de la calidad de la rizosfera (exudados del sistema radicular) (indirecta).
c. Inoculación de antagonistas de las enfermedades, microsimbiontes, rizobacterias y lombrices para el control de enfermedades y el aumento de la fertilidad del suelo (directa).
d. Manipulación de la biota edáfica mediante la modificación de la cantidad y la calidad de la materia orgánica (indirecta).
e. Control biológico de plagas y enfermedades (directa).

El manejo integrado de la biota edáfica, la biodiversidad y los ecosistemas agrícolas es un proceso holístico que se basa principalmente en los recursos disponibles localmente, el clima, las condiciones socioeconómicas, y sobre todo, en la participación directa de los agricultores y otros actores en la identificación y adaptación de prácticas de manejo a sus propios contextos. El potencial del manejo biológico del suelo puede ser mayor en agroecosistemas con niveles medios de perturbación (complejidad intermedia, en tierras marginales para prevenir la degradación, en tierras degradadas necesitadas de biorrecuperación) y una utilización entre baja y media de recursos externos y mano de obra humana en regiones donde la disponibilidad, el acceso a o el uso de insumos externos es limitado, situación que lleva a que sean predominantes los procesos biológicos para el mantenimiento de la fertilidad del suelo. En el caso particular de los agroecosistemas cafetaleros la aportación de microorganismos influye directamente en el bienestar del cultivo al mejorar las condiciones del suelo en el que se encuentra establecido. El productor en este caso participa directamente en

alterar para beneficio propio y del cultivo los procesos biológicos que se llevan a cabo en el suelo cafetalero al seleccionar y plantar variedades de café específicas, incorporar microorganismos benéficos y sobretodo la incorporación del alimento primordial de estos organismos (la materia orgánica) (Brown *et al.,* 2007).

Según Brown *et al.* (2007), la incorporación de microorganismos en el cultivo de café trae consigo la biorremediación de los suelos, la nutrición del cultivo de acuerdo a los procesos biológicos del suelo donde se ven influenciados los ciclos de los nutrientes requeridos por las plantas, una mejorar los procesos edáficos, un estado saludable del cultivo y preservar la salud de quien lo aplica.

Una forma de incorporar microorganismos en el agroecosistema cafetalero es a través del empleo de microorganismos eficientes (EM), microorganismos de montaña (MM), cepas puras (CP) de microorganismos benéficos, antagónicos y entomopatógenos. Cada tipo de microorganismos puede actuar en mayor o menor medida de acuerdo a las condiciones del sitio donde se incorporen. Higa menciona que los microorganismos eficientes (bacterias acido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras y hongos fermentadores) actúan en sinergia con los microrganismos ya presentes en el suelo, potencializando incluso los proceso edáficos. Por otra parte los microorganismos de montaña incluyen en su composición microorganismos buenos, malos y neutros que se encuentran en mayor o menor proporción de acuerdo al material madre (hojarasca de ecosistema no perturbado) con el que se elabore el preparado. Así mismo, al incluir cepas puras de microorganismos benéficos, antagónicos y entomopatógenos, se potencializa el control de plagas y enfermedades tanto en el suelo como el las plantas.

Manejo de plagas y enfermedades

El manejo de plagas y enfermedades del cafeto es un proceso donde se debe de identificar al patógeno en cuestión y el umbral económico para ser considerado una amenaza para el cultivo. Dentro de las plagas más destructivas para el cafeto se encuentran la broca del café, que es la principal y quizás la más devastadora (incluso por encima de enfermedades como la roya) al afectar directamente el órgano de interés (fruto y semilla). A decir, es de las pocas plagas con las que se debe de tener un estricto control de las poblaciones debido a que hacia la aparición de los primeros adultos de la descendencia, la población de la broca se constituye por alrededor de 25-30 individuos en todos los estados de desarrollo, de los cuales hay aproximadamente 10 hembras por cada macho y cuyo ciclo biológico varía de los 21-31 días (de huevo a adulto) (Barrera *et al*., 2008).

Para el manejo integral de la broca del café, es necesario mantener poblaciones bajas del insecto por lo cual se recomiendan preferentemente las prácticas culturales como: la recolección de los primeros frutos dañados al inicio de la fructificación, mantener un sistema de limpieza en el personal, equipo personal y el material agrícola, podas de saneamiento y rejuvenecimiento, manejo de arvenses oportuno y pepenas de frutos para evitar que las brocas que se mantienen en frutos caídos continúen con su ciclo. Además se pueden complementar mediante el control biológico a través de agentes de control como *Cephalonomia stephanoderis*, *Prorops nasuta* y *Phymastichus coffea* que fueron introducidos en México como depredadores para el control biológico de la broca del café. Hasta la fecha solo se ha logrado el establecimiento permanente de *C. stephanoderis* (Barrera *et al*., 2008).

Sin embargo *Beauveria bassiana* destaca de entre los entomopatógenos por su eficacia en el manejo integrado de la broca del café en México. *B. bassiana* es el agente de control biológico más usado contra la broca del café gracias a su relativa facilidad de producción, formulación y aplicación. Este hongo entomopatógeno, cuyo rango de huéspedes y distribución geográfica son amplios, comúnmente ocasiona epidemias o micosis en adultos de *H. hampei* bajo condiciones naturales en los agroecosistemas cafetaleros, sobre todo aquellos bajo sombra, siendo que, se encuentra presente de forma natural atacando a la broca.

El momento recomendable para la aplicación del hongo entomopatógeno es cuando la broca adulta inicia la perforación del fruto o esta se encuentra en el túnel de perforación lo cual ocurre entre los 80 y 120 días después de la principal floración. Son necesarias dos aplicaciones del hongo en intervalos de 5 días para lograr un mejor control a una concentración de 1.3×10^{12} esporas/ha por las mañanas o en la tardes. Se mejoran las aplicaciones con la utilización de adherentes o coadyuvantes como el aceite de coco que llega a incrementar en 30 veces la efectividad de *B. bassiana* usando equipos de ultra bajo volumen. Otros enemigos naturales de *H. hampei* mayormente utilizados en el mundo y en México se enlistan en el cuadro 21 (Barrera *et al*., 2008).

CUADRO 22. Enemigos naturales de *H. hampei.*[62]

Especie	Estado de desarrollo atacado
Bacillus sp.	Adulto
Wolbachia	Adulto
Beauveria bassiana	Adulto
Metharhizium anisopliae	Adulto
Paecilomyces fumosoroseus	Adulto
Lecanicillium lecanii	Adulto
Cephalonomia hyalinipennis	Larva, prepupa y pupa
Azteca instabilis	Adulto
Metaparasitylenchus hypothenemi	Adulto
Panagrolaimus sp.	Adulto
Cephalonomia stephanoderis	Todos los instares
Prorops nasuta	Todos los instares
Phymastichus coffea	Adulto

Otra práctica que resulta exitosa para el manejo de la broca del café es el trampeo (trampa + atrayente), que permite capturar la broca que se encuentra volando durante su fase de migración que inicia con las primeras lluvias. Las trampas se instalan a principio de marzo y se recogen al final de junio. El número mínimo de trampas es de 18-20 por hectárea. Las trampas se revisan cada 15 días, la broca capturada se elimina y los recipientes de captura se limpian, luego se llenan con agua hasta su límite superior de llenado.

[62] Fuente: modificado de Barrera et al. (2008).

En las parcelas demostrativas se identificaron las plagas enlistadas en el cuadro 22 y se realizaron algunas prácticas para su control. Cabe destacar que no todas eran de importancia económica, con excepción de la broca de café. Algunas de las plagas secundarias pueden incluso controlarse con aplicaciones de microorganismos de montaña o mediante la aplicación de entomopatógenos específicos y que abarcan un numero de plagas que en cuyo caso pueden verse afectadas por el organismo en cuestión.

CUADRO 23. Plagas y manejo.[63]

Plagas	**Manejo**
Broca del café	Podas (recepa y fitosanitaria) Aplicación de *Beauveria bassiana.*
Hormiga arriera	Aplicación de microorganismos.
Falso gusano medidor	Aplicación de microorganismos.
Chapulines	Aplicación de *Beauveria bassiana*.
Pulgones	Aplicación de microorganismos.

Respecto al manejo de enfermedades en el cultivo de café, este se basó en mantener un estado nutricional adecuado para el cultivo con la aplicación de harina de rocas y microorganismos, se realizaron prácticas culturales (alzado de sombra, podas, etc.), aplicación de inductores de resistencia (silicio soluble y otros compuestos (aminoácidos, etc.) y la formulación denominada "humisil") proporcionados por el Centro de Investigaciones Agroecológicas "Tierra Prieta", además de las aplicaciones de caldos minerales, todos indicados en el cuadro 23. Específicamente las aplicaciones de los inductores de resistencia (humisil y silicio soluble); así como, de los foliares orgánicos se llevaron a cabo en dosis al 1 %.

[63] Fuente: elaboración propia con datos de campo.

CUADRO 24. Enfermedades y manejo.[64]

Enfermedades	Manejo
Roya del café, ojo de gallo, antracnosis, mal de hilachas, requemo.	Podas (recepas y fitosanitarias). Aplicación de caldo bordelés. Aplicación de caldo sulfocálcico. Aplicación de silicio soluble. Aplicación de humisil. Alzado de sombra.
Mancha de hierro	Aplicación de humisil. Aplicación de foliares. Sombreado del vivero
Damping off	Elección del sustrato. Solarizado del sustrato. Riegos controlados. Aplicación de humisil.
Pudrición radicular	Arrancar plantas enfermas Aplicar microorganismos al suelo.

El papel del silicio en el manejo de la roya del café

Se ha utilizado el silicio para mejorar el crecimiento de las plantas y los rendimientos de producción, particularmente bajo condiciones de estrés, así también con diferentes respuestas fisiológicas como son: mejoramiento en el balance de nutrientes, reducción de la toxicidad de minerales, incremento en las propiedades mecánicas de los tejidos vegetales, y un aumento en la resistencia a otros diversos factores abióticos (sales, toxicidad de metales, desbalance nutricional, sequía, radiación, altas temperaturas, heladas, radiación UV, etc.) y factores bióticos (Quero, 2007).

Se ha demostrado que el silicio tiene efectos benéficos en los cultivos, ya que al ser absorbido por la planta se transforma en cristales de silicio, formando una barrera protectora presentando una resistencia mecánica al ataque de enfermedades e insectos. El silicio (Si) tiene una acción dinámica en el sistema agua-suelo-planta, estimándose que anualmente se remueven del suelo un promedio de 400 kg/ha, ya que se encuentra presente de manera soluble y sólida en

[64] Fuente: elaboración propia con datos de campo.

los diferentes tejidos de la planta, especialmente, formando parte de las células que componen el sistema tegumentario (Quero, 2007).

El silicio forma agregados insolubles (fitolitos) y solubles (polímeros del ácido ortosilicico), entrelazados con la celulosa y componentes de la pared celular, haciéndolas resistentes y flexibles. La epidermis puede estar en una o varias capas de las células. Éstas tienen a veces una membrana impregnada de una sustancia impermeable, la cutina, llamada cutícula, que es delgada, brillante y translúcida, con lo que protegen al tejido subyacente contra la acción del agua, del aire y los microorganismos. Es importante mencionar que la densidad de estomas y tricomas, se debe a la influencia de las condiciones del medio ambiente y a la disponibilidad de nutrientes, principalmente de silicio, calcio, potasio y magnesio (Quero, 2007).

El Si propicia un aumento en la resistencia de enfermedades en las plantas. Los cultivos que tienen la capacidad de almacenar en sus tejidos a este elemento tienen la ventaja de ser menos propicios al ataque de patógenos. El mecanismo de protección es en la pared celular o cerca de ésta, donde se concentra el silicio e impide la penetración del patógeno. El Si puede incluso reducir los efectos fitotóxicos del exceso de Mn, Fe y Al en suelos ácidos. El Si es absorbido como ácido monosilícico (H_4SiO_4) no disociado. La mayor proporción del Si en la planta se encuentra como sílice amorfa hidratada ($SiO_2 \bullet nH_2O$) (Quero, 2007).

Las plantas cultivadas difieren mucho en la capacidad de absorber el silicio. Entre los beneficios del Si en los cultivos se encuentran:

a. **La resistencia a enfermedades.** Adiciones de silicato de potasio incrementan la actividad de la quitinasa, peroxidasa y la polifenoloxidasa, compuestos que inducen resistencia a la planta. Pozza *et al.* (2004), demostraron que la aplicación de silicato de calcio en plantas de cafeto en almácigo, reduce la incidencia de mancha de hierro debido a la presencia del silicio en el tejido foliar, que se confirmó mediante las técnicas de microscopía de barrido electrónico y microanálisis de rayos x. Amaral *et al.* (2008) encontraron que tanto en vivero como en condiciones de campo, el silicio redujo el ataque de *Cercospora coffeicola*. Parte de esta protección conferida por el silicio a la planta de cafeto se puede explicar por el aumento de actividad de algunas enzimas, así como a la mayor acumulación de lignina en los tejidos del café. Martinati *et al*. (2008)

verificaron los efectos del silicato de potasio y del silicato de calcio y magnesio en la incidencia de *H. vastatrix* en plántulas de café (*Coffea arabica* cv. Mundo novo) en condiciones de invernadero. El análisis estadístico mostró que se redujo el número de lesiones causadas por la roya de café hasta en un 66 % como respuesta a la dosis más alta de silicio (5 µm de Si de silicato de potasio).

b. **Incrementos en el rendimiento.** En suelos pobres en silicio, la adición de silicatos tiene efectos benéficos en rendimiento. La aplicación de silicio puede incrementar la producción anual de café (pergamino) entre 10 y 15 %.
c. **Beneficio para otros elementos.** Las aplicaciones de silicio favorecen la disponibilidad de fósforo en el suelo. Esta mejora en la disponibilidad del fósforo probablemente se debe a que el silicato desorbe al fósforo de los sitios de adsorción en la arcilla y en los sesquióxidos, y porque disminuye la actividad del aluminio (Al^{3+}) en solución. El Si produce también una mayor disponibilidad de zinc en condiciones de alto P y deficiente Zn. Por ejemplo, Caicedo y Chavarriaga (2007) realizaron un experimento con plántulas de café variedad Colombia, cuyo objetivo general fue evaluar su respuesta a la aplicación de diferentes dosis de silicio y de fósforo. Los resultados permitieron ratificar la influencia del silicio en complemento con el fósforo (aumenta la disponibilidad de P) en el mayor desarrollo y crecimiento de las plántulas, al igual que el mayor número de hojas, mayor crecimiento de la raíz y parte aérea de las plántulas. El estudio sugiere una dinámica ascendente del ácido ortosilícico a través del xilema de las plántulas, ratificando su acumulación en las hojas.
d. **Favorece el desarrollo radicular.** Favorece el desarrollo radicular de los cultivos cuando estos crecen en suelos deficientes en calcio. Matichenkov (2004), afirma que el silicio contribuye al desarrollo de raíces de las plantas y puede aumentar su masa radical entre un 50 y un 200 %. Caicedo y Chavarriaga (2007) indican que el peso seco de raíz de cafetos en almacigo aumentó en más del 45 % de su peso seco en aplicaciones de Si y P. Este es un parámetro fundamental en esta época en la cual se esperan períodos secos prolongados, ya que le confiere a las plantas mayor capacidad para explorar el suelo y aprovechar más eficientemente el agua contenida en él.
e. **Favorece el desarrollo de ramas y hojas.** García *et al.* (2015) encontraron que la brotación en cafetos después de la poda de rehabilitación era más precoz al aplicar

silicio en dosis de 15 ml, donde también se indujo un mayor número de brotes/planta con (10.03 brotes en promedio) y demostraron los beneficios del silicio, con el cual se favoreció la aparición de un mayor número de ramas y hojas por brote después de la poda.

El silicio que se encuentra en los minerales requiere de un aporte frecuente de agua, y la solubilidad se mejora con la adición de materia orgánica y bióxido de carbono. El silicio soluble estará en la forma de ácido ortosilicico y las sales derivadas de este, como son el silicato de calcio, silicato de zinc, etc., las cuales son asimiladas por el sistema radicular de la planta. El silicio debería ser incluido en los planes de fertilización del café para garantizar la sustentabilidad del cultivo, no hay razón para obviar el silicio cuando han sido ya establecidos y demostrados sus beneficios en la fisiología de la planta. (Caicedo y Chavarriaga, 2007).

FIGURA 39. Respuesta de cafetos a los tratamientos de inductores de resistencia.[65]

[65] Fuente: capturadas en campo. La figura a y b muestran cafetos con excelente brotación 6 meses después de la aplicación de silicio soluble y 7 meses después de la aplicación del producto humisil.

Manejo de arvenses

Las hierbas afectan el crecimiento y desarrollo de los cafetos al establecer competencia por los factores básicos para la producción de las cosechas, como son: espacio, consumo de agua, disponibilidad de luz, nutrimentos presentes en el suelo y abonos aplicados (SAGARPA y COFRUPO, 2009; Sotomayor, 1993; Sosa et al., 1999).

Uno de los aspectos importantes a considerar en el manejo de las hierbas en los cafetales, es la identificación de especies que por su menor competencia con el cultivo, son mayormente apreciadas por los mismos productores para ejercer una función de cobertura al suelo; lo cual, implica la selección, reproducción y diversificación de estas especies para suprimir el crecimiento y desarrollo de otras que son altamente competitivas con el cultivo y que dificultan algunas otras labores a lo largo del ciclo de producción.

En la producción orgánica se cambia el concepto de maleza o mala hierba a arvense, al aceptar que, las hierbas son un componente del agroecosistema que coexiste con los cafetos (Sosa *et al.,* 2009). Existen hierbas que bajo cierto manejo pueden ayudar a la conservación del suelo.

Virginio *et al*. (s.f.) realizaron una lista de hierbas comunes e inducidas en cafetales (cuadro 24), destacan su clasificación, y las especies consideradas, dentro de las cuales, son notorias aquellas especies denominadas hierbas buenas, nobles o poco competitivas y otras altamente competitivas con el cafeto, en la que su mayoría se compone de la familia Poaceae.

Bajo la consideración de que debe de haber un manejo regulado de las hierbas en el cafetal; en este caso, los deshierbes deben de ser selectivos, al hacer uso del conocimiento que implica conocer el tipo de crecimiento de cada hierba presente en el cafetal para fomentar o reducir su presencia.

CUADRO 25. Especies de arvenses y su clasificación.[66]

Tipo de hierba	Especies
Hierbas buenas	*Arachis pintoi, Commelina* sp., *Drymaria villosa, Borreria laevis, Borreria* sp., *Oxalis* sp., *Desmodium* sp., *Dichondra repens, Euphorbia* sp., *Hydrocotyle* sp., *Mucuna pruriens, Oplismenus burmannii, Hyptis atrorubens, Phyllanthus* sp., *Jaegeria hirta, Indigofera spicata, Tripogandra cumanensis, Tradescantia zebrina* y *Richardia scabra.*
Hierbas regulares	*Ageratum conyzoides, Amaranthus* sp., *Arachis hypogaea, Bidens pilosa, Asclepias* sp., *llum pinnatum, Cajanus cajan, Cannavalia ensiformis, Centrosema pubescens, Chamaesyce hirta, Chenopodium álbum, Conyza* sp., *Argemone Mexicana, Impatiens wallerana, Sisyrinchium bogotense* y *Indigofera suffruticosa.*
Hierbas competidoras	*Equisetum arvense, Euphorbia heterophylla, Galinsoga* sp., *Impatiens balsamina, Emilia fosbergii, Eichornia crassipes, Triumfetta semitriloba, Hyptis capitata, Ipomea* sp., *Lantana cámara, Ludwigia* sp., *Mikania micrantha, Mimosa púdica, Momordica charantia, Sida acuta, Sphilanthes ocymifolia, Tridax procumbens* y *Borreria alata.*
Hierbas muy competidoras	*Cynodon dactylon, Eleusine indica, Cyperus rotundus, Portulaca oleracea, Pteridium aquilinum, Ricinus communis, Tithonia rotundifolia, Digitaria sanguinalis* y *Rottboellia cochinchinensis.*

El uso de instrumentos como el machete es el más recurrido por los productores, el corte de las hierbas se realiza entre los 10 y 15 cm de altura, para protección del suelo. En el cuadro 25 destacan el manejo para con las hierbas del cafetal, las estrategias de control y buenas prácticas para el manejo de hierbas.

[66] Fuente: Virginio *et al.* (s.f.)

CUADRO 26. Clasificación de arvenses, estrategias y prácticas de manejo.[67]

Tipo de hierbas	Estrategia de control	Buenas prácticas para el manejo de hierbas
Hierbas buenas	Mantener, inducir, y ampliar su cobertura.	Favorecer condiciones para que se extiendan en el cafetal (entre filas del café): Evitar cortarlas o quemarlas. Mantener sombra adecuada en los cafetales. Controlar hierbas competidoras que están próximas a través de control mecánico o manual.
Hierbas regulares	En ausencia de buenas coberturas, mantenerlas controladas entre filas de café.	Mantener sombra adecuada en los cafetales. Mantener hojarasca cubriendo suelo. Usar control mecánico o manual, para mantener libre el área de fertilización del café y su presencia con baja altura entre surcos.
Hierbas competidoras	Reducir su presencia y mantener controladas.	Mantener sombra adecuada en los cafetales. Mantener hojarasca cubriendo suelo. Usar control mecánico o manual, para reducir su presencia en cafetal.
Hierbas muy competidoras	Reducir su presencia y cobertura en el cafetal y mantener controladas.	Mantener sombra adecuada en los cafetales. Mantener hojarasca cubriendo suelo. Usar control mecánico o manual, para reducir su presencia y cobertura en cafetal.

Un complemento a los deshierbes selectivos es la incorporación del control biológico, al fomentar las coberturas nobles, que son hierbas de porte bajo, crecimiento rastrero, sistema radical somero y superficial con gran capacidad de cubrimiento y dominancia poblacional, estas coberturas presentan bajo grado interferencia con los cafetos.

Como ejemplo de coberturas nobles, son frecuentes en los cafetales mexicanos las especies del género *Commelina* (figura 40), además de especies introducidas, como es el cacahuate forrajero (*Arachis pintoi*).

[67] Fuente: Virgilio *et al.* (s. f.)

FIGURA 40. Coberturas nobles.[68]

Programa de manejo integral de la roya del café.

Para mantener un estado saludable del cultivo de café y dar seguimiento al inicio de la rehabilitación, es necesario establecer un programa de manejo integral que abarque diferentes actividades durante los meses del año y se prolongue hasta la renovación completa del cafetal, abarcando también las diferentes etapas de este proceso, con lo cual se evita una precipitada reincidencia y severidad de la enfermedad de la roya (*H. vastatrix*).

La calendarización de las prácticas agronómicas que ejecute el productor en pro de mejorar las condiciones del cultivo es necesaria para la obtención de mejores resultados en el manejo integral. En el cuadro 27 se realiza una propuesta como programa de manejo integral en el primer año de rehabilitación del cafetal. Como propuesta se plantea el número veces que se puede repetir cada una de las prácticas, donde destacan la fecha; así como, y el tipo de productos para la nutrición del cultivo, el control de la roya y la broca del café quienes son los principales patógenos que atacan al cultivo y generan las mayores pérdidas económicas.

Teniendo en cuenta la fenología del cafeto a lo largo del año; además de que las condiciones económicas de cada productor son diferentes, la opción de ejecutar cualquier práctica para el manejo del integral del cultivo se deberá elegir en acuerdo con el productor y adoptar la opción más viable. En consecuencia algunas de las actividades como las aplicaciones de productos

[68] Fuente: capturada en campo. La figura a representa la especie *Tradescantia zebrina* y la b representa a la especie *Commelina* sp.

para el control de la roya (caldos minerales, humisil, silicio soluble) o de microorganismos (consorcios microbianos, microorganismos efectivos, microorganismos de montaña) podrían restringirse a la utilización de los productos más baratos y en mayor disposición.

Así también otras prácticas como por ejemplo la poda de rejuvenecimiento o recepa; deberán ajustarse a las condiciones de cada productor; así, bien podría implementarse en todo el predio de cultivo, realizarse por lotes, en hileras alternas o un sistema combinado (lotes e hileras alternas), para no mermar drásticamente la producción de café, en el entendido de que la producción en aquellas plantas podadas tiende a reiniciarse los 18-36 meses y estabilizarse a los 5-6 años (si se elige un sistema de poda por lotes), esto de acuerdo al grado de manejo del cultivo y las condiciones ambientales que se presenten. En tanto, si se elige cualesquiera de los sistemas de poda; las plantas que permanezcan intactas, tendrán que recibir a su vez un manejo de poda fitosanitaria y de control fitosanitario enfocado a disminuir el inoculo del hongo *H. vastatrix* similar al que se realice en los brotes de la recepa.

Si bien las prácticas incluidas en el cuadro 27 van dirigidas a disminuir la presencia de la enfermedad de la roya del café, con las mismas prácticas se ven desfavorecidas otras enfermedades del follaje como el ojo de gallo, el requemo, la mancha de hierro y enfermedades de que afectan a la raíz como la causada por *Rossellinia* sp. Así también se ven desfavorecidos los ciclos biológicos de plagas, al introducir enemigos naturales de estos patógenos como lo es *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café.

Posteriormente a la poda de rejuvenecimiento o poda fitosanitaria deberá de considerarse complementarlas con el manejo de la sombra, la formación de barreras muertas o en otros casos barreras vivas, la remineralización del suelo y fertilización con composta, el manejo de arvenses, y las aplicaciones de productos para el control de la roya.

Es de aun más importancia el establecimiento de viveros individuales para la renovación de la plantación; por ello, es necesario que la calendarización de las actividades se continúen después del segundo año en adelante, con lo cual el productor se puede apoyar para realizar las prácticas adecuadas en tiempo y forma, generando una estabilidad en la producción de su cultivo, mejorando la calidad de su producto, reducir costos de producción y lo más importante aumentar las ganancias.

CUADRO 27. Programa para el manejo integral del cultivo de café.[69]

Actividades	Meses del año											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Fenología del cultivo	Cosecha	Crecimiento vegetativo		Floración. Crecimiento vegetativo			Fructificación Crecimiento vegetativo					Cosecha
Poda de rejuvenecimiento.[70]												
Poda fitosanitaria.												
Mantenimiento de sombra												
Aplicación de caldos minerales		CB o CS						CC				
Barreras muertas												
Remineralización y fertilización												
Aplicación de microorganismos[71]												
Deshierbes selectivos												
Selección de y raleo de brotes												
Aplicación de inductores de resistencia		SS		H			H			H		
Aplicación de foliares				A			FG			A		
Trampeo para broca												
Aplicación de *Beauveria bassiana*												

En el caso de las aplicaciones de productos para el control de la roya, como lo son los caldos minerales, estos, se pueden iniciar con una primera aplicación utilizando el caldo bordelés o dada las condiciones, con el caldo sulfocálcico y realizar una segunda aplicación donde se incluya al caldo ceniza, puesto que, el fruto es demandante en K (principal nutriente del caldo mineral) en su desarrollo. Con una correcta aplicación de caldo bordelés o sulfocálcico en el mes de febrero, el cultivo puede estar protegido hasta por 100 días, siendo que el principal efecto de estos caldos es el formar una barrera protectora en la cutícula de la hoja ante la posible infección de las uredosporas del hongo *H. vastatrix*.

[69] Fuente: elaboración propia. CB= Caldo bordelés; CS= Caldo sulfocálcico; CC= Caldo ceniza; H= Humisil; SS= Silicio soluble; FG= Foliar Gume; A= Aminoácidos.
[70] Poda de rejuvenecimiento: se debe realizar bajo un sistema de poda por lotes, hileras alternas o combinado.
[71] Microorganismos: EM= Microorganismos efectivos; CM= Consorcio microbiano; MM= Microorganismos de montaña.

Para las aplicaciones de los inductores de resistencia y foliares estos tienden a coincidir de acuerdo al tipo de producto a aplicar y la razón es, para disminuir el número de aplicaciones, puesto que, dichos productos se pueden mezclar entre sí. De esta forma en una misma aplicación estamos combinando un producto que mantenga un control sobre la roya y otro que nutra de forma eficiente a la planta de café. Así también, coinciden las fechas de selección y raleo de brotes con las aplicaciones de estos productos, a razón de que necesitan seguir protegidos y nutridos los brotes seleccionados en un principio. Dado el caso muy particular del silicio soluble (SS), este puede aplicarse inmediatamente después de haberse efectuado la poda fitosanitaria una vez culminando la cosecha y puede inclusive combinarse con la aplicación de los caldos minerales en el mes de febrero o bien en una aplicación aparte.

La aplicación de microorganismos al suelo es esencial para promover la solubilización de los nutrientes incluidos en la harina de rocas y mejorar la interacción planta-nutrientes. Por lo tanto, se proponen cuatro aplicaciones al año, de las cuales, se incluyen a los microorganismos eficientes (EM), el consorcio microbiano (CM) y por último, están los microorganismos de montaña (MM) considerando que puede ser aplicados al suelo o a la planta (directamente al follaje) para el control de plagas del cafeto, en el caso particular del consorcio microbiano, su formulación tendrá que modificarse según el uso que se le otorgue (nutrir a la planta y combatir plagas).

La primera aplicación de microorganismos coincide con la remineralización y fertilización (harina de roca y composta) que van de la mano a fomentar una mejora en la nutrición del cafeto. Siendo que el consorcio microbiano es uno de los insumos más caros, la propuesta más factible para la aplicación de esta tecnología es su reproducción artesanal en grandes volúmenes por parte de los productores con lo que se reduciría el costo de adquisición de cada cepa que integra al consorcio.

Por otra parte, el manejo de las arvenses va encaminado a la selección de especies como *Commelina* sp. para fomentar su uso como coberturas nobles y disminuir la presencia de especies altamente competitivas con el cultivo. En el manejo de arvenses se tiene propuesto la implementación de deshierbes selectivos, en cuyo caso se tendrán que realizar en los meses de junio y octubre, antes y después del mes más lluvioso (septiembre), lo que permite mantener

un nivel adecuado de la cubierta vegetal que proteja al suelo de la erosión hídrica y que no mantenga una competencia exagerada por nutrientes y agua con el cultivo.

El trampeo para la broca del café tendrá que iniciarse en el mes de abril o inclusive un mes antes según las condiciones del ambiente al tener en cuenta que esta práctica debe de realizarse antes de la floración y consecuentemente revisar periódicamente las trampas colocadas (cada 15 días). Independientemente del éxito que se pueda lograr con el trampeo, es necesaria la aplicación de entomopatógenos como *B. bassiana* y algunos otros. Respecto al caso particular de *B. bassiana* las aplicaciones de este entomopatógeno tendrán que realizarse una vez iniciada la temporada de lluvia (mayo, junio, julio) con intervalos semanales de las aplicaciones, hasta por tres veces.

En conjunto, estas prácticas lograrán reducir la presencia de plagas y enfermedades, mantener un estado saludable del cultivo en cuestión y de manera paulatina incrementar la productividad del cultivo, todo esto encaminado hacia la producción orgánica, ecológica o agroecológica según sea el término que se maneje, pero que en común mantengan un mismo fin, reducir el impacto al medio ambiente por parte de la agricultura.

En este sentido en el cuadro 28 se muestran los principios mencionados por Altierí (2009) y la técnica agroecológica empleada para satisfacer dicho principio en la medida que se establezca un programa definido del manejo del cultivo de café como es el presente caso. Dado que no todas las técnicas agroecológicas se pueden abordar dentro del manejo integral del café a razón de las condiciones económicas distintas de cada productor y a la capacidad de retención que conlleva el transmitir estas técnicas, se hacen mención a las que se emplean o puedan emplearse en un futuro.

CUADRO 28. Principios y técnicas agroecológicas implementadas en el manejo del café.[72]

Principio agroecológico	Técnica agroecológica
Diversificación vegetal y animal a nivel de especies o genética en tiempo o espacio.	Implementación de un policultivo tradicional o comercial, renovación de la plantación y podas escalonadas, incorporación de microorganismos (EM, CM, MM), incorporación de M. O. al suelo.
Reciclaje de nutrientes y materia orgánica, optimización de la disponibilidad de balances y flujo de nutrientes.	Composteo, vermicomposteo, mezcla mineral, abonos verdes, microorganismos (EM, CM, MM).
Provisión de condiciones edáficas óptimas para el crecimiento de cultivos manejando materia orgánica y estimulando la biología del suelo.	Aplicación de los distintos abonos orgánicos (composteo, vermicomposteo, bocashi, etc), uso de coberturas nobles, cultivos de cobertera, microorganismos (EM, CM, MM).
Minimización de pérdidas de suelo y agua manteniendo cobertura del suelo, controlando la erosión y manejando el microclima.	Coberturas nobles, cultivos de cobertera, barreras muertas o vivas, altas densidades de plantación.
Minimización de pérdidas por insectos, patógenos y arvenses mediante medidas preventivas y estímulo de fauna benéfica, antagonistas, alelopatía, etc.	Implementación de un policultivo tradicional o comercial, podas, renovación de plantación, control biológico *in situ* y por aumento, control etológico (trampeo), caldos minerales, inductores de resistencia, coberturas nobles, cultivos de cobertera, microorganismos (EM, CM, MM).
Promoción de sinergias que emergen de interacciones planta-planta, planta-animal y animal-animal.	Implementación de un policultivo tradicional o comercial, microorganismos (EM, CM, MM), vermicomposteo, incorporación de M. O. al suelo.

[72] Fuente elaboración propia, a partir de los principios agroecológicos de Altierí (2009). M. O.= materia orgánica; EM= microorganismo eficientes; CM= consorcio microbiano; MM= microorganismos de montaña.

Costos de producción de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha.

Según lo menciona Godínez (2015) donde se considera que los tipos de manejo del cultivo de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha (el convencional y el orgánico) no adquieren mucha diferencia entre ambos. Por lo general el costo de producción por hectárea para el cultivo en cuestión es de alrededor de $ 5,600.00 (cuadro 29); si se considera además, que el rendimiento promedio del ciclo 2013-2014 fue de 130 $kg.ha^{-1}$ de café pergamino, cuyo precio fue de $ 41.00 por kg de café pergamino se obtuvieron en promedio $ 5,330.00 por hectárea, que indica una pérdida económica, además de que producción de café ha dejado de ser redituable económicamente.

CUADRO 29. Costos de producción de 1 ha de café.[73]

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario ($)	Total ($)
Deshierbe	Jornal	2	750	1500
Recepa	Jornal	1	500	500
Poda fitosanitaria	Jornal	1	400	400
Manejo de sombra	Jornal	1	200	200
Formación de barreras muertas	Jornal	3	150	450
Deshije	Jornal	1	300	300
Pizca	Botes	15	50	750
Beneficio	Jornal	5	300	1500
			Total=	5600

Si se considera además de que el precio por kg de café pergamino se incrementó para el ciclo 2014-2015 en $ 15.00 más, llegando a $ 56.00 por kg y de acuerdo al tipo de café que se puede ofertar en el mercado que va implícitamente ligado a la calidad del producto y algunas otras cuestiones de marketing, el precio de venta mínimo que puede llegar a obtenerse por kg de café es de $ 60.00; por otro lado, si se toma en cuenta que los bajos rendimientos, no son propiamente los que el cultivo bajo las condiciones ambientales del municipio pueda llegar a expresar mediante un adecuado manejo, nos encontramos ante una gran oportunidad de mejorar el sistema de producción de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha al aumentar el nivel de manejo del cultivo y la implementación de prácticas agroecológicas.

[73] Fuente: Godínez (2015).

Costos de manejo integrado de la roya dentro de proceso de producción de café.

Como todo proceso innovador y de transferencia de tecnología, se debe considerar el costo que tendrá la tecnología una vez aplicada. Por ello en el presente apartado se desglosan los costos de caldos minerales, el precio de los insumos, los costos de reproducción de microorganismos, los costos del proceso de producción para 1 ha de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha y el costo del paquete tecnológico aplicado para una ha de café.

Los caldos minerales como ya se mencionó son una opción económica que se puede utilizar para el manejo de la roya del café y para la misma nutrición del cultivo vía foliar. Dentro de los caldos minerales más económicos se encuentran el caldo ceniza con un costo aproximado de elaboración de $ 32.00 M. N. para 20 L del producto, con un costo por litro del producto final de $ 1.6 M.N. (cuadro 30). Le sigue el caldo sulfocálcico con un costo aproximado de $ 65.00 M. N. para la elaboración de 20 L del producto, el costo por litro es de $ 3.25 M.N. (cuadro 31) y por último el caldo bordelés con un costo de $ 85.00 M. N. para elaborar 100 L del producto y cuyo precio por litro es de $ 0.85 M. N. (cuadro 32)

CUADRO 30. Costo de elaboración del caldo ceniza.[74]

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario ($)	Total ($)
Jabón	g	500	0.034	17
Ceniza	kg	5		
Agua	L	20		
Leña	Tercio	1	15	15
			Total=	**32**

CUADRO 31. Costo de elaboración del caldo sulfocálcico.[75]

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario ($)	Total ($)
Azufre	kg	4	10	40
Cal	kg	2	5	10
Agua	L	20		
Leña	Tercio	1	15	15
			Total=	**65**

[74] Fuente: elaboración propia.
[75] Fuente: elaboración propia.

CUADRO 32. Costo de elaboración del caldo bordelés.[76]

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario ($)	Total ($)
Sulfato de cobre	kg	1	80	80
Cal	kg	1	5	5
Agua	L	100		
			Total=	**85**

Otro de los puntos importantes es el precio de los insumos que necesariamente tiene que adquirir el productor para mejorar las condiciones de su suelo y mantener el estado saludable del cultivo; por ello, en el cuadro 33 se desglosan los precios de estos insumos, sin considerar el flete hasta el lugar donde se ocuparán, ni la cantidad a utilizar según el número de aplicaciones al año.

CUADRO 33. Precios de insumos para la rehabilitación del cafetal.[77]

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario ($)	Total ($)
Mezcla mineral	ton	1	1.6	1600
Aminoácidos	L	10	30	300
Lixiviados	L	5	100	500
Gumerbiol	L	10	50	500
Silicio soluble	L	10	30	300
Humisil	L	2.5	200	500
Caldo ceniza	L	20	1.6	24
Caldo bordelés	L	100	0.85	255
Caldo sulfocálcico	L	20	3.25	48.75
			Total=	**3882**

Como antes se mencionó, la remineralización y fertilización de los suelos cafetaleros necesitan complementarse con la incorporación de M. O. y de microorganismos que actúen en sinergia para mejorar las condiciones del suelo y del propio cultivo. A partir de este concepto, surge el ímpetu de elaborar una composta a partir de los recursos disponibles por el productor, en cuyo caso es la pulpa de café y además, es necesario reproducir los microorganismos propios de la región cafetalera mismos que están adaptados a las condiciones climáticas y de suelo de la

[76] Fuente: elaboración propia.
[77] Fuente: elaboración propia.

región. Ante esto en el cuadro 34 y 35 se muestran los costos de reproducción de microorganismos de montaña en sus fases sólida y liquida que en total se ocupan alrededor de $ 475.00 para su elaboración sin considerar los repitentes en los que se mantendrán activados, en cuyo caso pueden elevar en $ 100.00 a $ 1,000.00 más dependiendo del volumen a utilizar.

CUADRO 34. Costo de elaboración de microorganismos de montaña (fase sólida).[78]

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario ($)	Total ($)
Hojarasca	kg	40		
Maíz molido	kg	40	5	200
Melaza	L	1	10	10
Suero de leche	L	1	15	15
Agua	L	1		
				225

CUADRO 35. Costo de elaboración de microorganismos de montaña (fase líquida).[79]

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario ($)	Total ($)
Fase sólida	kg	8		
Agua	L	100		
Melaza	L	10	10	100
Suero de leche	L	10	15	150
				250

En algunos otros casos, productores con un poco más de recursos, pueden adquirir microorganismos efectivos, que a su vez los pueden reproducir y dejar de depender de insumos externos. De igual forma sucede con las cepas puras de microorganismos para formar sus propios consorcios microbianos. En los cuadros 36 y 37 se observan los precios de estos insumos y el costo que tiene el reproducirlos de manera artesanal para su utilización dentro del cafetal. Cabe destacar que sus uso, como se mencionaba anteriormente puede estar restringido o determinado por la condiciones económicas del productor, así que la opción más viable es la utilización de microorganismos de montaña.

[78] Fuente: elaboración propia.
[79] Fuente: elaboración propia.

En el caso de los microorganismos efectivos, el costo de reproducción es de $ 1,325.00, esto se debe a la adquisición del producto que incluye a los microorganismos. En este caso, el costo puede reducirse si los microorganismos efectivos se reproducen y activan de una forma más económica, logrando la captura de estos en campo, mediante vasos rellenos con arroz precocido cubiertos con tela cielo y ligas, así el costo se reduce a $ 220.00 para el mismo volumen de producción.

CUADRO 36. Costo de reproducción y activación de microorganismos efectivos.[80]

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario ($)	Total ($)
Microorganismos efectivos	L	1	1200	1200
Agua	L	50		
Melaza	L	5	10	50
Suero de leche	L	5	15	75
				1325

Caso contrario para la reproducción de las cepas puras y la formulación del consorcio microbiano, la inversión tiene que ser mucho mayor dependiendo de los microorganismos a reproducir puesto que cada uno de ellos está registrado por los laboratorios que los reproducen y le asignan un precio de acuerdo a los insumos que gastan y a la concentración de los microorganismos que ofertan. Así, un cálculo estimado para la reproducción artesanal de estos microorganismos es de $ 6,104.00 en consideración de que deben de activarse dos veces en los tambos de 50 L, y una vez activados, debe de pasarse la mitad del volumen de los tambos al tinaco de 750 L para, elaborar el consorcio microbiano.

La utilización de este consorcio microbiano puede abarcar para el control de plagas del suelo y del follaje de la planta, como fijadores de N y P, promotores del crecimiento vegetal o bien cumplir las tres funciones al mismo tiempo en aplicaciones al suelo.

La implementación de esta tecnología agroecológica deberá ser planteada como una opción económicamente viable si se reproducen los microorganismos en grandes volúmenes y con la participación de varios productores para reducir la carga económica entre ellos.

[80] Fuente: elaboración propia.

CUADRO 37. Reproducción y activación de consorcio microbiano.[81]

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario ($)	Total ($)
Tinaco (750 L)	Pieza	1	800	800
Tambo	Pieza	7	100	700
Agua	L	675	0.2	135
Melaza	kg	34	10	340
Masa	kg	14	10	140
Suero de leche	L	34	15	510
Micorrizas	Dosis	1	235	235
Bacillus subtilis	Dosis	1	280	280
Azospirillum	Dosis	1	100	100
Azotobacter	Dosis	1	680	680
Bacillus thuringiensis	Dosis	1	640	640
Beauveria bassiana	Dosis	1	964	964
Trichoderma	Dosis	1	580	580
			Total=	6104

El cálculo del costo del proceso de producción en el caso del café, resulta una forma por medio de la cual se analiza e interpreta el grado de inversión que se tiene para la obtención de una cosecha de café, misma que resulta un parámetro por el cual podemos calcular la relación beneficio-costo que se traduce en las ganancias que se obtienen por la cosecha una vez que se invirtió una cantidad de dinero al inicio y durante el proceso de producción. En el cuadro 38 se muestran el costo de la mano de obra en cada actividad al iniciarse la rehabilitación del cafetal, en cuyo caso, destaca que se ubicaron los costos aproximados de cada una de las actividades en conjunto con los productores, para no sobre estimar dichos costos.

[81] Fuente: elaboración propia.

CUADRO 38. Mano de obra para la rehabilitación de 1 ha de café.[82]

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario ($)	Total ($)
Recepa	Jornal	4	150	600
Poda fitosanitaria	Jornal	2	130	260
Encalado de tocones	Jornal	1	130	130
Selección de brotes	Jornal	2	100	200
Alzado de sombra	Jornal	4	130	520
Remineralización de suelos	Jornal	4	150	600
Aplicación de microorganismos	Jornal	8	130	1040
Establecimiento de barreras muertas	Jornal	4	120	480
Deshierbes selectivos	Jornal	8	130	1040
Aplicaciones de inductores y foliares	Jornal	8	130	1040
Aplicación de caldos minerales	Jornal	4	130	520
Aplicaciones de entomopatógenos	Jornal	8	130	1040
Trampeo de broca de café	Jornal	3	100	300
			Total=	**7770**

De acuerdo al programa de manejo integral del cultivo, en el cuadro 39 se muestra el costo del paquete tecnológico para 1 ha de café, tomando en cuenta los cálculos específicos según el volumen y el número de aplicaciones al año de acuerdo al programa de manejo integral.

CUADRO 39. Insumos para 1 ha de café.[83]

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario ($)	Total ($)
Mezcla mineral	kg	500	1.6	800
Aminoácidos	L	20	30	600
Lixiviados	L	5	100	500
Gumerbiol	L	10	50	500
Silicio soluble	L	10	30	300
Humisil	L	7.5	200	1500
Caldo ceniza	L	15	1.6	24
Caldo bordelés	L	300	0.85	255
Caldo sulfocálcico	L	15	3.25	48.75
			Total=	**4527.75**

[82] Fuente: elaboración propia.
[83] Fuente: elaboración propia.

Aun y cuando el productor cuenta con herramientas para facilitarse en las actividades del cafeto, la adquisición de algunas herramientas más (serrotes) es fundamental para la rehabilitación del cafetal, por lo tanto, el precio de estas aumentan en alrededor de $ 4,385.00 el costo de la rehabilitación del cafetal si se consideran aquellas con las que se cuenta.

CUADRO 40. Costos de herramientas.

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario ($)	Total ($)
Serrote	Pieza	4	130	520
Tijeras	Pieza	2	90	180
Machete	Pieza	4	80	320
Lima	Pieza	4	25	100
Manguera	m	20	1.5	30
Barreta	Pieza	1	390	390
Mochila aspersora	Pieza	2	900	1800
Boquillas	Pieza	2	80	160
Brocha	Pieza	1	20	20
Cubeta	Pieza	1	25	25
Vaso medidor	Pieza	2	30	60
Cubetas	Pieza	4	35	140
Palas	Pieza	4	160	640
			Total=	**4385**

En total si sumamos el costo de la mano de obra, los insumos y las herramientas para la implementación del paquete tecnológico en una hectárea de café, tenemos que se tendrán que invertir alrededor de $ 16,682.75 sin considerar aún la elaboración y activación de microorganismos lo cual aumentaría la cantidad a $ 17,500.00. Esto implica un gasto enorme para el productor, pero la ventaja radica en que el volumen de producción de café se puede aumentar, al aumentar los rendimientos de 130 $kg.ha^{-1}$ de café pergamino a por lo menos 300 $kg.ha^{-1}$ de manera paulatina y que se respete un precio mínimo de compra de $ 60.00 por kg de café pergamino.

VII. CONCLUSIONES

La rehabilitación de cafetales es un proceso holístico que deberán de manejar conjuntamente el productor con quién le brinda la asesoría técnica y mediante adecuaciones que deberán contribuir al mejoramiento de proceso de producción.

El proceso de rehabilitación del cafetal es lento y progresivo, implica muchos otros procesos en los que se ven implicados aquellos relacionados a la planta, edáficos, del propio ambiente, entre otros; por lo tanto, los resultados pueden verse lentos, en cuyo caso el productor deberá ser paciente ante el transcurso de las mejoras en el cultivo.

La vida productiva de las plantaciones de café es determinante para el establecimiento de un programa de renovación y/o rehabilitación, por lo que se deberán establecer ciclos, en los cuales será necesario iniciar las actividades para uno u otro programa.

No se descarta la posibilidad de la utilización de material genético tolerante a la roya del café, mismo que deberá cumplir con las características de calidad del producto final, aceptables para el consumidor (aroma, acidez, contenido de cafeína, etc.) y que retribuya en buena medida ganancias hacia el productor.

VIII. RECOMENDACIONES

Deberá considerarse la implementación de algunas buenas prácticas agrícolas que mantengan la integridad de quienes apliquen los productos para el control de plagas y enfermedades, aún y cuando se trate de enfoque orgánico o ecológico.

La utilización de coadyuvantes en las aplicaciones de foliares y productos para el control de la roya del café, incrementa su efectividad, por lo que será necesaria su incorporación en dichas prácticas y su uso deberá estar regulado por las normas de producción orgánicas.

La calibración de los equipos de aspersión es necesaria para proporcionar un ahorro en los insumos utilizados para el control de la roya de café, por lo que el productor deberá manejar esta práctica.

IX. LITERATURA CITADA

AGUADO S., G. A. 2012. Uso de microorganismos como biofertilizantes, pp. 79-115 *In*: AGUADO S., G. A. (ed). Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. INIFAP / SAGARPA. Celaya, Guanajuato, México.

ALFARO A., R. 1997. Estudio de sistemas fertilización orgánica versus fertilización química en el cultivo del café (*Coffea arabica*) en la zona de Alajuela. Simposio latinoamericano de caficultura. San José, Costa Rica. pp. 171-176.

ALTIERÍ, M. A. 2009. El estado del arte de la agroecología: Revisando avances y desafíos, pp. 69-95. Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones. ALTIERÍ, M. A. (ed.). Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología. Medellín, Colombia.

AMARAL D., R.; RESENDE M., L. V.; RIBEIRO J., P. M.; BOREL J., C; MCLEOD R., E. O.; PÁDUA M., A. 2008. Silicato de potássio na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*. Tropical Plant Pathology. 33: 425-431.

ANACAFÉ. 2015. Semilleros y almácigos. Disponible en: https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_SemillerosyAlmacigos

ARANDA E.; I. BAROIS 1999. Lombricompostaje de la pulpa de café en México. I Simposio internacional y reunión nacional sobre lombricultura y abono orgánicos. Montecillo y Chapingo, México. pp. 111-112.

ARCILA P., J.; F. FARFÁN V.; A. M. MORENO B.; L. F. SALAZAR G.; E. HINCAPIÉ G. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná, Caldas, Colombia. 309 p.

ASIC. 2012. 24th International Conference on Coffee Science. Association for Science and Information on Coffee. San José, Costa Rica. pp. 11-16.

AVELINO J. 2006. Denominaciones de origen e indicaciones geográficas: Fundamentos y metodologías con ejemplos de Costa Rica, pp. 119-139. *In*: El cafetal del futuro:

realidades y visiones. POHLAN, J. A.; SOTO P., L.; BARRERA, J. F. (eds.). Shaker Verlag. Chiapas, México.

BADRAN N., M.; ADBEL L., A.; ADBEL F., S. 1999. Mobility of Fe and Mn in polluted soils as affected by the addition of some organic materials. Egyptian Journal of Soil Science. 4 (39): 579-593

BARRERA J. F.; J. GÓMEZ; A. CASTILLO; E. LÓPEZ; J. HERRERA; G. GONZÁLEZ. 2008. Cultivos industriales. Broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleóptera: *Curculionidae*), pp. 101-115. *In*: Casos del control biológico en México. ARREDONDO B., H. C.; RODRÍGUEZ DEL B., L. A. (eds.). Grupo Mundi-Prensa. México.

BERTRAND, B.; B. RAPIDEL. 1999. Desafíos de la cafeticultura en Centroamérica. San José, Costa Rica. IICA / PROMECAFÉ. 457 p.

BODE, R.; LÄDERACH, P.; OBERTHÜR, T. 2006. Gestión de alta calidad: percepciones, lenguajes y paradigmas, pp. 161-176. *In*: El cafetal del futuro: realidades y visiones. POHLAN, J. A.; SOTO P., L.; BARRERA, J. F. (eds.). Shaker Verlag. Chiapas, México.

BOTELLO DE C., P. 2013. Remineralización de Suelos Tropicales Cafetaleros: Caso Calcio en la región Loxicha, Oaxaca después del Huracán Carlota 2012. 169 p.

BROWN G. G.; M. J. SWIFT; D. E. BENNACK; S. BUNNING; A. MONTÁÑEZ; L. BRUSSAARD 2007. Manejo de la biodiversidad del suelo en los ecosistemas agrícolas, p. 234-378. *In*: Manejo de la Biodiversidad en los Ecosistemas Agrícolas. JARVIS D. I.; PADOCH, C.; COOPER, H. D. (eds.). Ed. Bioversity International. Roma, Italia.

BUENAVENTURA S., C. E.; CASTAÑO C., J. J. 2002. Influencia de la altitud en la calidad de la bebida de muestras de café procedente del ecotopo 206B en Colombia. CENICAFÉ 53(2):119-131.

CAICEDO M., L. M.; CHAVARRIAGA M., W. 2007. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. Agronomía. 15 (1): 27-37.

CAMARGO, M. B. P. 2010. The impact of climatic variability and climate change on Arabic Coffee crop in Brazil. Bragantia. 69: 239-247.

CAMPOS A., O. G. 2015. Manejo integrado de la roya anaranjada *Hemileia vastatrix* Berk et Br. Centro Nacional de Investigaciones en Café. Asociación Nacional del Café. Guatemala. 19 p.

CARVAJAL J., F. 1972. Cafeto. Cultivo y fertilización. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza. 141 p.

CARVAJAL, J. F. 1984. Cafeto. Cultivo y fertilización. 2da Edición. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza. 254 p.

CEPAL. 2014. Impactos potenciales del cambio climático sobre el café en Centroamérica. Comisión Económica Para América Latina y el Caribe y Consejo Agropecuario Centroamericano del Sistema de la Integración Centroamericano. D. F., México. 122 p.

CERTIMEX. 2014. Normas para la producción, el procesamiento y la comercialización de productos ecológicos. 9ª Ed. Certificadora Mexicana de Productos y Procesos Ecológicos. S.C. Oaxaca, México.147 p.

CGM. 2012. Perfil de mercado de la dolomita. Coordinación general de minería. Dirección general de desarrollo minero. Secretaría de economía. México. 35 p.

CÓRDOVA S., S. 2006. El siglo veintiuno impone al café un nuevo reto: masificar el consumo de calidad, pp: 85-106. *In:* El cafetal del futuro: realidades y visiones. POHLAN, J. A.; SOTO P., L.; BARRERA, J. F. (eds.). Shaker Verlag. Chiapas, México.

DAVIS, K. R.; LYON, G. D.; DARVILL, A. G.; ALBERSHEIM, P. 1984. Host-pathogen interactions XXV. Endopolygalacturonic acid lyase from *Erwinia carotovora* elicits phytoalexins accumulation by releasing plant cell wall fragments. Plan Physiology 74: 52-60.

DESCROIX, F.; SNOECK, J. 2004. Environmental factors suitable for coffee cultivation, pp: 164-177. *In*: Coffee: growing, processing, sustainable production. WINTGENS, J. N. (ed.). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. Corseaux, Switzerland.

DÍAZ C., G. T.; SÁNCHEZ M., F. D.; LLERENA R., L. T.; VÁSCONEZ M., G. H. 2009. Empleo de zeolitas naturales en la fertilización y producción del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la zona de Quevedo. Revista Ciencia y Tecnología 3: 1-6.

DURÁN R., F. 2009. Cultivo de café. Grupo Latino. Colombia. 512 p.

EBEL, J. 1986. Phytoalexin synthesis: the biochemical analysis of the induction process. Annals Review Phytopathology. 24: 235- 264.

EMDM. 2014. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Oaxaca. Disponible en: http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM20oaxaca/municipios/20117a.html

EMRO. 2015. Acerca de E. M. Disponible en: http://www.emrojapan.com/about-em/about-em.html

EPPO. 2013. Roya del café. European and Mediterranean Plant Protection Organization. Disponible en: http://www.eppo.int

ESCAMILLA P., E. 2012. Sistemas de cultivo de café en México: sistema de montaña. Universidad Autónoma Chapingo. Huatusco, Veracruz. 25 p.

ESCAMILLA P., E.; DÍAZ C., S. 2002. Sistemas de cultivo de café en México. Universidad Autónoma Chapingo / Fundación produce de Veracruz, A. C. Huatusco, Veracruz, México. 64 p.

ESCAMILLA P., E. 2007. Influencia de los factores ambientales, genéticos, agronómicos y sociales en la calidad del café orgánico en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 241 p.

FAO, 2014. Programa de Agricultura Orgánica. Glosario. Disponible en: http://www.fao.org/organicag/es/

FAO. 2015. Cierre de producción de café verde por país 2013. Disponible en: http://faostat3.fao.org/download/ Q/QC/E

FARFÁN V., F. 2014. Agroforestería y sistemas agroforestales con café. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Manizales, Caldas, Colombia. 342 p.

FOURNIER, L.; DI STEFANO, J. 2004. Variaciones climáticas entre 1988 y 2001 y sus posibles efectos sobre la fenología de varias especies leñosas y el manejo de un cafetal con sombra en ciudad Colón de Mora. Agronomía Costarricense. 28 (1): 101-120.

GARCÍA B., D. 2012. Efecto de la aplicación de dosis de silicio más abonos orgánicos en la poda de rehabilitación en plantas de café variedad Catimor en el distrito de Alonso de Alvarado Roque - provincia de Lamas. Tarapoto. Perú. 70 p.

GARCÍA, E. 1964. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México. 71 pp.

GAY, C.; ESTRADA, F.; CONDE, C.; EAKIN, H. 2004. Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz (México), pp. 651-660. *In:* El Clima entre el mar y la montaña. GARCÍA C., J. C.; LIAÑO, D. C.; DE ARRÓYABE H., F. P.; PEDRAJA, G. C.; ÁLVAREZ, R. D. (eds.). Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria. Santander. España.

GODÍNEZ B., G. 2015. Producción de café orgánico en San Bartolomé Loxicha, Oaxaca. Una forma de vida en torno al café. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 176 p.

GÓMEZ C., M. A.; SCHWENTESIUS R., R.; ORTIGOZA R., J.; GÓMEZ T., L.; MAY T., V.; LÓPEZ R., U. I.; ARREOLA Q., J. A.; NORIEGA A., G. 2013. Situación actual y retos de la producción orgánica. CIIDRI. Disponible en: http://imagenagropecuaria.com/2013/situacion-actual-y-retos-de-la-produccion-organica/

GÓMEZ C., M. Á.; SCHWENTESIUS R., R.; ORTIGOZA R., J.; GÓMEZ T., L.; MAY T., V.; LÓPEZ R., U. I.; ARREOLA Q., J. A.; NORIEGA A., G. 2010. Agricultura, apicultura y ganadería orgánicas de México 2009. Estado actual, retos y tendencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 59 p.

GÓMEZ, M. J. M. 2001. Síntesis, caracterización y aplicaciones catalíticas de zeolitas básicas. Memoria presentada para optar al grado de doctor en Ciencias Químicas. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. 276 p.

GUZMÁN O., M. 2004. Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. California Plant Health Association. Limusa. México. 366 p.

HAGGAR, J.; K. SCHEPP. 2011. Coffee and climate change desk study. Impacts of climate change in the pilot country Tanzania. Coffee production and climate change. Initiativesfor adaptation. Publ. University of Greenwich. UK.

HAGGAR, J.; K. SCHEPP. 2012. Coffee and climate change. Impacts and options for adaption in Brazil, Guatemala, Tanzania and Vietnam. NRIworking paperseries:Climate change, agriculture and natural resources, No. 4, Publ. University of Greenwich. UK

HEREDIA, B. 2011. Guía Técnica para el Cultivo del Café. ICAFE-CICAFE. Costa Rica. 72 p.

HIGA, T. 2013. Effektive mikroorganismen – unsere perspektive. 30 Jahre EM-Technología von den Anfängen bis Fukushima. Ed. EM, Heimerzheim, Alemania. 187 p.

IFOAM. 2005. Normas de IFOAM para la producción y el procesamiento orgánicos. Alemania. 136 p.

IFOAM. 2014. Principios de la agricultura orgánica. Disponible en: http://www.ifoam.org/.

IICA. 2010. Guía de buenas prácticas agrícolas para fincas de café protegidas bajo una indicación geográfica o denominación de origen. Guatemala. 20 pp.

INIFAP. 2015. Estación meteorológica del municipio de Candelaria Loxicha, Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Disponible en: http://clima.inifap.gob.mx/LNMySR/Estaciones/ConsultaDiarios15Min?Estado= 19&Estacion=50

IRISSÓN N., S.; I. BAROIS; E. ARANDA D. 1999. Calidad química, bioquímica y bacteriológica de la vermicomposta de pulpa de café. I Simposio internacional y reunión nacional sobre lombricultura y abonos orgánicos. Montecillo y Chapingo, México. 145-147 p.

JULCA O., A.; SOLANO A., W. 2002. Growth of *Coffea arabica* L. cv Caturra Amarilla seedbeds with organic substrates from a Peruvian tropical forest. Revista. Investigación Agraria, Producción y protección Vegetal. 3 (17): 353-365.

KRAUS H. E., HUNT F. W. Y RAMSDELL S. L. 1959. Mineralogía una introducción al estudio de minerales y cristales. Quinta edición. Ediciones del castillo. Madrid, España. 111 p.

LÄDERACH, P.; T. OBERTHÜR; N. NIEDERHAUSER; H. USMA; L. COLLET; H. A. J. POHLAN. 2006. Café especial: Factores, dimensiones e interacciones, pp: 141-160. *In:* El cafetal del futuro: realidades y visiones. POHLAN, J. A.; SOTO P., L.; BARRERA, J. F. (eds.). Shaker Verlag. Chiapas, México.

LARA S., M. P. 1997. Efecto de formulaciones comerciales de *Bacillus thuringiensis* sobre el desarrollo de la roya del cafeto causada por *Hemileia vastatrix* Berk & Br. Managua, Nicaragua. 35 p.

LEROY T., RIBEYRE F., BERTRAND B., CHARMETANT P., DUFOUR M., MONTAGNON CH. MARRACCINI P.; POT D. 2006. Genetics of coffee quality. Braz. J. Plant Physiol. 18(1): 229-242.

LÓPEZ H., D. 2011. Capacidades de extensión para la rehabilitación de cafetales. Procesos metodológicos para orientar a los productores cafetaleros. Junta Nacional del Café. Lima, Perú. 96 p.

MANSON R. H., HERNÁNDEZ-ORTIZ V., GALLINA S. Y MEHLTRETER K. (eds). 2008. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México. 348 p.

MARTINATI J., C.; HARAKAVA R.; GUZZO S., D.; TSAI S., M. 2008. The potential use of a silicon source as a component of an ecological management of coffee plants. Journal of Phytopathology. 156:458-463.

MARTÍNEZ P., D., E. PÉREZ P., J. G. PARTIDA S Y P. LÄDERACH. 2006. Algunos impactos de los efectos abióticos, bióticos y el proceso industrial sobre características relacionadas

con la calidad del café en Veracruz, México, pp. 177-188. *In*: El cafetal del futuro: realidades y visiones. POHLAN, J. A.; SOTO P., L.; BARRERA, J. F. (eds.). Shaker Verlag. Chiapas, México.

MARTÍNEZ P., D.; PÉREZ P.; E., PARTIDA S., J. G.; ESCAMILLA P., E.; LÓPEZ G., F. J.; DÍAZ C., S.; MORALES R., V.; CASTILLO P., G.; CONTRERAS L., A. 2004. El manejo agronómico de la calidad del café. Avances en la investigación agrícola, pecuaria, forestal y acuícola en el trópico mexicano. Veracruz, México. pp. 145-152.

MATICHENKOV, V. 2004. Silicon in Food. Agriculture and Environment. International Conference and Exhibition. Disponible en: http//www.sifertilizer.com/

MAU, F. P. 2011. EM- Fantastische Erfolge mit effectiven Mikroorganismen in Haus und Garten für Pflanzanwachstum und Gesundheit. Ed. Goldmann, Alemania. 320 pp.

MEIER, U. 2001. Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas. BBCH Monografía. 2da Edición. BASF. Alemania BBA. 149 p.

MOGUEL, P.; V. M. TOLEDO. 1996. El café en México: ecología, cultura indígena y sustentabilidad. Ciencias. 1(43): 40-51.

MOLINA, E. A. 2002 a. Fuentes de fertilizantes foliares, pp. 26-34. *In:* Fertilización foliar: principios y aplicaciones. MELÉNDEZ, G.; MOLINA E. A. (eds.). Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

MOLINA, E. A. 2002 b. Fertilización foliar en cultivos frutícolas, pp. 94-97. *In*: Fertilización foliar: principios y aplicaciones. MELÉNDEZ, G.; MOLINA E. A. (eds.). Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

MÓNACO, C. I. 2014. Principios de manejo ecológico de enfermedades de cultivos, pp. 314-338. *In*: Agroecología. Bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables. SARANDÓN, S. J.; FLORES, C. C. (eds.). Edulp, La Plata, Argentina.

MONACO, L. C. 1977. Consequences of the introduction of coffee rust into Brazil, pp. 287:57-71. *In:* PR Day, ed. The Genetic Basis of Epidemics in Agriculture. Annals of the New York Academy of Sciences. Brazil.

MURILLO A., G. 2015. Ácidos húmicos de leonardita. Disponible en: http://www.fertilizantes yabonos.com/acidos-humicos-de-leonardita/

NIETO G., A.; MURILLO A., B.; TROYO D., E.; LARRINAGA M., J. Á.; GARCÍA H., J. L. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. Interciencia 27(8): 417 – 421.

NMX-F-551-SCFI-2008. Disponible en: http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/paging Allres.nmx?tiponmx=S&claveprod=108&d-7519366-p=1&palabras=

NOLASCO M. 1985. Café y Sociedad en México. Centro de ecodesarrollo. México, D.F. 454 p.

NORIEGA A., G.; CÁRCAMO R., B.; GÓMEZ C., M. Á; SCHWENTESIUS R., R.; CRUZ H., S.; LEYVA B., J.; GARCÍA DE LA R., E.; LÓPEZ R., U. I.; MARTÍNEZ H., A. 2014. Intensificación de la producción en la agricultura orgánica: caso café. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 5 (1): 163-169.

OMS y FAO. 2015 Codex alimentarius. Manual de procedimiento. Roma. 234 pp.

ORDOÑEZ, M. A. 2001. Guía Técnica de Producción de Semilleros y Viveros de Café, pp. 43-53. *In*: Manual de caficultura. 3ra Edición. Instituto Hondureño del Café. Honduras. 93 pp.

OSSOM E., M.; F. PECE P.; L. RHYKERD R.; L. RHYKERD C. 2001. Effect of mulch on weed infestation, soil temperature, nutrient concentration, and tuber yield in Ipomoea batatas (L.) Lam. in Papua New Guinea. Tropical Agriculture. Revista. Vol. 78, Número 3. 144-151 p.

PÉREZ G., V. 2000. La producción y comercialización de café en México. ¿Opción viable para los pequeños productores?. Disponible en: www.ciepac.org/otras%20temas/memorias /cafe.htm

PÉREZ P., E.; D. GEISSERT K. 2006. Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.)-Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). Interciencia 31: 556-562.

PÉREZ P., E.; PARTIDA S., J. G.; MARTÍNEZ P., D. 2005. Determinación de las subdenominaciones de origen del Café Veracruz (estudio preliminar). Revista de Geografía Agrícola. 35: 23-56.

POHLAN H., A. J. 2006. El cafetal del futuro, pp. 3-14. *In:* El cafetal del futuro. Realidades y Visiones. POHLAN, J. A.; SOTO P., L.; BARRERA, J. F. (eds.). Shaker Verlag. Chiapas, México.

POZZA A., A. A.; ALVES, E.; POZZA E., A.; CARVALHO J., G.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES P., T. G.; SANTOS D., M. 2004. Efeito do silício no controle da Cercosporiose em três variedades de cafeeiro. Fitopatologia Brasileira, 29:185-188.

PUERTA Q. G. I. 2006. Buenas prácticas agrícolas para el café. Avances técnicos 349. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná, Caldas, Colombia. 12 p.

QUERO G., 2007. Remineralización de suelos con materiales ricos en silicio MPAS1. Congreso de Riego: protección y nutrición de hortalizas y frutas. 6(30): 18-22.

RAMÍREZ, J. E. 1996. Estudio de sistemas de poda de café por hileras y por lotes. Agronomía Costarricense. 20(2): 167-172.

REGALADO O., A. 1996. Manual para la cafeticultura mexicana. INCA Rural. México, D.F. 156 p.

REGALADO O., A. 2006. ¿Qué es la calidad del café? Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 309 p.

RENARD, M. C. 2006. Calidad y certificación del café: Significados e implicaciones, pp. 107-118. *In*: El cafetal del futuro: realidades y visiones. POHLAN, J. A.; SOTO P., L.; BARRERA J. F. (eds.). Shaker Verlag. Chiapas, México.

RESTREPO R., J. 2007. El A, B, C de la Agricultura y harina de rocas. Ed. Servicio de información mesoamericano sobre agricultura sostenible. Fundación Juquira Candirú. 32 p.

RIVERA S., M. DEL R.; NIKOLSKII G., L.; CASTILLO Á., M.; ORDAZ C., V. M.; DÍAZ P., G.; GUAJARDO, R. A.. 2013. Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. Terra Latinoamericana. 31 (4): 305-313.

ROMERO G., A. 2010. Efectos de los sistemas agroforestales del café y del contexto del paisaje sobre la roya, (*Hemileia vastatrix*), broca (*Hypothemus hampei* (Ferrrari) y los nemátodos *Meloidogyme* spp.), con diferentes certificaciones en la provincia de Cartago, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. Costa Rica. 75 pp.

ROMERO L., M. R. 2000. Agricultura orgánica. Elaboración y aplicación de abonos orgánicos. *In:* MARTÍNEZ C., L. RAMÍREZ (Eds). Lombricultura y agricultura sustentable. SAGAR, Sinder, De México al mundo y Alianza para el Campo. México. pp. 125-134.

RUÍZ F., J. F. 1999. Tópicos sobre agricultura orgánica. Tomo I. Consejo Nacional Regulador de Agricultura Orgánica. UACh. Chapingo, México. 338 p.

SADEGHIAN K. H., S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P., J. 2006. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. CENICAFÉ. 57(4): 251-261.

SAGARPA. 2015. Presentación en el marco de las actividades para cafeticultura en el estado de Oaxaca. 19/02/2015. Candelaria Loxicha, Oaxaca.

SAGARPA; COFUPRO. 2008. Buenas prácticas agrícolas para el cultivo del café. Inca Rural. México, D.F. 79 pp.

SANTOYO C., V. H.; S. DÍAZ C.; E. ESCAMILLA P.; J. D. ROBLEDO M. 1996. Factores Agronómicos y Calidad del Café. Universidad Autónoma Chapingo. Confederación de Productores de Café. Chapingo, México. 21 p.

SCAN. 2011. Rehabilitación de Cafetales: Bases para la Transición hacia una Caficultura Empresarial y Sostenible. Junta Nacional del Café. Lima, Perú. 106 p.

SCHROTH, G., P. LADERACH, J. DEMPEWOLF, S. PHILPOTT, J. HAGGAR, H. EAKIN, T. CASTILLEJOS, J. GARCIA MORENO, L. SOTO PINTO, R. HERNANDEZ, A.

EITZINGER; J. RAMIREZ-VILLEGAS. 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change. 14: 605-625.

SCHWENTESIUS R., R.; GÓMEZ C., M. A.; GÓMEZ T., L.; MONTOYA T., J. N.; REYES R., R.; JUÁREZ C., S. I. 2014. Manejo ecológico de la roya del café en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 21 p.

SEGURA, A. 2002. Fertilización foliar: principios y aplicaciones, pp. 24-25. *In*: Fertilización foliar: principios y aplicaciones. MELÉNDEZ, G.; MOLINA E. A. (eds.). Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

SENASICA. 2013 a. Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome). Ficha Técnica No. 40. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Dirección General de Sanidad Vegetal. Programa Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. México, D.F. 25 p.

SENASICA. 2013 b. Manual operativo de la campaña preventiva contra la roya del cafeto. Disponible en: www.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento...

SIAP. 2015. Cierre de producción de café cereza por estado 2014. Consultado en: http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/

SQM-VITAS. 2015. Café. Disponible en: http://www.sqm-vitas.com/es-pe/nutrici%C3%B3n vegetaldeespecialidad/informaci%C3%B3nporcultivos/caf%C3%A9.aspx#tabs-5

SMN. 2015. Estaciones climatológicas de la costa de Oaxaca. Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. Disponible en: http://smn.conagua.gob.mx /index.php?option=com_content&view =article&id=42&Itemid=75

SOSA M., L.; ESCAMILLA P., E. AND DÍAZ C., S. 2004. Organic Coffee, pp: 339-354. *In*: Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. WINTGENS, J. E. (ed). Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim, Germany.

SOSA M., L; ESCAMILLA P., E.; DÍAZ C., S. 1999. Café orgánico: producción y certificación en México. El Jarocho Verde. 11: 13-25.

SOTOMAYOR H., I. 1993. Manual del cultivo de café. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quevedo, Ecuador. 262 p.

SOTOMAYOR H., I.; DUICELA G., L. 1993. Semilleros y viveros de café. 49-63 p. *In*: Manual del cultivo de café. SOTOMAYOR H., I. INIAP. Quevedo, Ecuador. 262 pp.

TRINIDAD, S. A.; AGUILAR, M. D. 2000. Fertilización foliar un respaldo ante rendimientos de cultivos. Terra. 17 (3): 247 – 255.

URIBE M., P. 1993. La materia orgánica y su importancia en el cultivo del café. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná, Colombia. 24 p.

VAAST P.; VAN KANTEN R.; SILES P.; DZIB B.; FRANCK N.; HARMAND J. M., GÉNARD M. 2004. Shade: a key factor for coffee sustainability and quality. 20th International Conference on coffee science. Bangalore, India.

VELÁSQUEZ O., R. A. 2015. Recomendaciones y consideraciones para la renovación exitosa de una plantación. Boletín técnico. Asociación Nacional del Café. Guatemala. 14 p.

VILLERS, L.; N. ARIZPE; R. ORELLANA; C. CONDE; J. HERNÁNDEZ. 2009. Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. Interciencia 34: 322-329.

VIRGILIO F., E. DE M.; ANDRADE, R.; SÁNCHEZ, L. s.f. Manejo integral de hierbas de cafetales. CATIE / ACERES. 43 p.

ZAPATA. F.; ROY, N.R. 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. Boletín FAO: fertilizantes y nutrición vegetal núm. 13. Roma, Italia. 177 p.

ZETINA L., R.; PASTRANA, A., L.; ROMERO, M., J.; JIMÉNEZ, CH., J. A. 2002. Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Golfo Centro, Campos Experimentales Papaloapan y Huimanguillo. Tabasco, México. 170 p.

X. ANEXOS

CUADRO 41. Fenología del cultivo de café en el municipio de San Bartolomé Loxicha.[84]

Meses	Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Diciembre
PP (mm)												
T (°C)												
Fenología	Maduración	Crecimiento vegetativo										Maduración

Floración

El crecimiento vegetativo se traslapa con el crecimiento reproductivo (floración, crecimiento y desarrollo de frutos).

La humedad es el factor más importante para que ocurrá la floración. En este caso la etapa de floración puede ocurrir en varios ciclos (3 o más veces); por lo tanto, el crecimiento y desarrollo de frutos se puede presentar en diferentes niveles que repercute en varios cortes durante la cosecha en los meses de diciembre y enero.

Crecimiento y llenado de frutos

[84] Fuente: elaboración propia con datos de campo.

FIGURA 41. Deficiencias de nitrógeno y fosforo.[85]

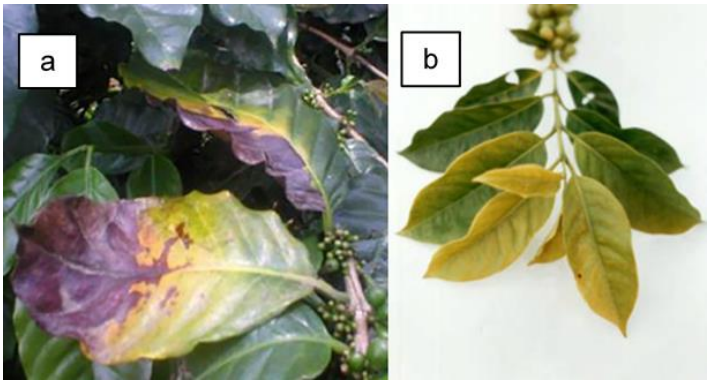

FIGURA 42. Deficiencias de potasio y azufre.[86]

FIGURA 43. Deficiencias de calcio y magnesio.[87]

[85] Fuente: PROCAFE (2015). Figura a indica deficiencia de nitrógeno y b deficiencia de fosforo.
[86] Fuente: PROCAFE (2015). Figura a indica deficiencia de potasio y b deficiencia de azufre.
[87] Fuente: capturada en campo. Figura a indica deficiencia de calcio y b deficiencia de magnesio.

FIGURA 44. Deficiencias de hierro y manganeso.[88]

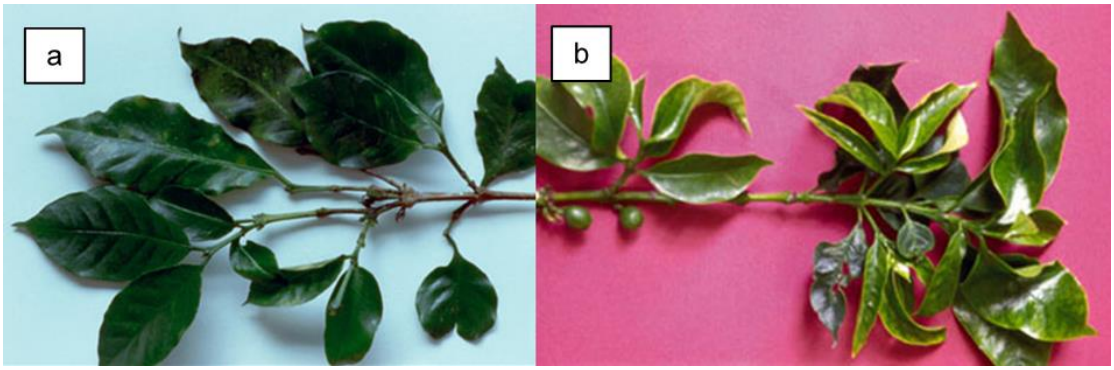

FIGURA 45. Deficiencias de boro y zinc.[89]

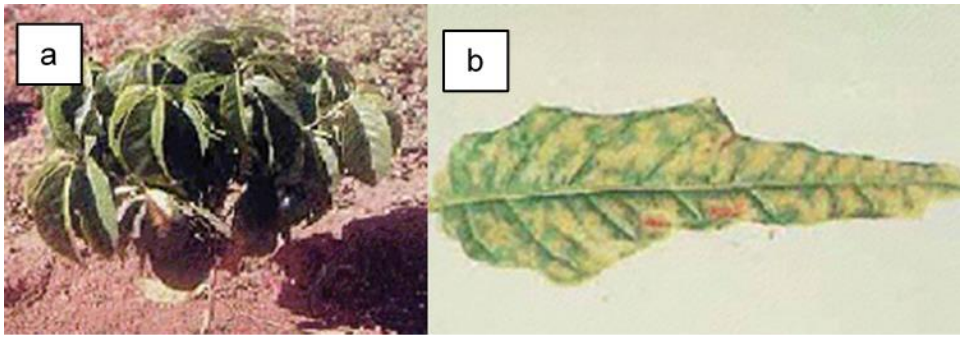

FIGURA 46. Deficiencias de cloro y molibdeno.[90]

[88] Fuente: figura a capturada en campo y b PROCAFE (2015). Figura a indica deficiencia de hierro y b deficiencia de manganeso.
[89] Fuente: PROCAFE (2015). Figura a indica deficiencia de boro y b deficiencia de zinc.
[90] Fuente: SQM-VITAS (2015). Figura a indica deficiencia de cloro y b deficiencia de molibdeno.

CUADRO 42. Sustancias que pueden emplearse como fertilizantes y acondicionadores del suelo.[91]

Denominación	Descripción; requisitos de composición y condiciones de uso
Estiércol de granja.	Producto constituido mediante la mezcla de excrementos de animales y de materia vegetal (cama). Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas.
Estiércol desecado o gallinaza deshidratada.	Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas.
Mantillo de excrementos sólidos, incluidos la gallinaza y el estiércol composteado.	Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas.
Excrementos líquidos de animales.	Utilización tras una fermentación controlada o disolución adecuada. Prohibida la procedencia de ganaderías intensivas.
Guano	
Turba	Utilización limitada a la horticultura (cultivo de hortalizas, floricultura, arboricultura, viveros)
Deyecciones de lombrices (humus de lombriz) e insectos.	
Mezclas de materiales vegetales composteadas o fermentadas.	Producto obtenido a partir de mezclas de materias vegetales, sometido a un proceso de compostaje o una fermentación anaeróbica para la producción de biogás.
Digerido de biogás, con subproductos animales codigeridos con material de origen vegetal o animal recogido en el presente anexo.	No debe aplicarse a las partes comestibles del cultivo.

[91] Fuente: CERTIMEX (2014).

CUADRO 43. Continuación del cuadro 42, sustancias que pueden emplearse como fertilizantes y acondicionadores del suelo.[92]

Denominación	Descripción; requisitos de composición y condiciones de uso
Productos o subproductos de origen animal mencionados a continuación: – Harina de sangre. – Polvo de pezuña. – Polvo de cuerno. – Polvo de huesos o polvo de huesos desgelanitizado. – Harina de pescado. – Harina de carne. – Harina de pluma. – Lana. – Aglomerados de pelos y piel. – Pelos. – Productos lácteos. – Proteínas hidrolizadas.	Concentración máxima en mg/kg de materia seca en cromo (VI): no detectable. No debe aplicarse en las partes comestibles del cultivo.
Productos y subproductos de origen vegetal para abono.	Ejemplos: harina de tortas oleaginosas, cáscara de cacao y raicillas de malta.
Algas y productos de algas	En la medida que se obtengan directamente mediante: i) Procedimientos físicos, incluidas la deshidratación, la congelación y la trituración. ii) Extracción con agua o con soluciones acuosas acidas y/o alcalinas. iii) Fermentación.
Aserrín y virutas de madera	Madera no tratada químicamente después de la tala.
Mantillo de cortezas	Madera no tratada químicamente después de la tala.
Cenizas de madera	A base de madera no tratada químicamente después de la tala.
Fosfato natural blando	Contenido de cadmio inferior o igual a 90 mg/kg de P_2O_5.
Fosfato aluminocálcico	Contenido de cadmio inferior o igual a 90 mg/kg de P_2O_5. Utilización limitada a los suelos básicos (pH> 7.5).
Escoria de desfosforación	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.

[92] Fuente: CERTIMEX (2014)

CUADRO 44. Continuación del cuadro 43, sustancias que pueden emplearse como fertilizantes y acondicionadores del suelo.[93]

Denominación	Descripción; requisitos de composición y condiciones de uso
Sal potásica en bruto o kainita.	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Sulfato de potasio que puede contener sal de magnesio.	Producto obtenido a partir de sal potásica en bruto mediante un proceso de extracción físico, y que también puede contener sales de magnesio.
Vinaza y extractos de vinaza	Excluidas las vinazas amoniacales.
Carbonato de calcio (creta, marga, roca calcárea molida, arena calcárea, creta fosfatada).	Únicamente de origen natural.
Magnesio y carbonato de calcio.	Únicamente de origen natural. Por ejemplo: creta de magnesio, roca de magnesio calcárea molida.
Sulfato de magnesio (kieserita).	Únicamente de origen natural.
Solución de cloruro de calcio.	Tratamiento foliar de los manzanos, a raíz de una carencia de calcio
Sulfato de calcio (yeso)	Únicamente de origen natural.
Cloruro de sodio	Solamente sal gema (sal mineral).
Cal industrial procedente de la producción de azúcar.	Subproducto de la producción de azúcar de remolacha.
Cal industrial procedente de la producción de sal al vacío.	Subproducto de la producción de sal al vacío a partir de la salmuera natural de las montañas
Oligoelementos (por ejemplo: boro, cobre hierro, manganeso, molibdeno, zinc).	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Azufre elemental.	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Polvo de roca o arcilla.	….
Leonardita (sedimento orgánico sin tratar, rico en ácidos húmicos).	Únicamente si se obtiene de aprovechamientos sostenibles.
Quitina (polisacárido obtenido del caparazón de crustáceos).	Únicamente si se obtiene de aprovechamientos sostenibles.
Sedimento rico en materia orgánica procedente de masas de agua dulce y formado en ausencia de oxigeno (por ejemplo: sapronel).	…. Concentraciones máximas en mg/kg de materia seca: cadmio: 0.7; cobre: 70; níquel: 25; plomo: 45; zinc: 200; mercurio: 0.4; cromo (total):70; cromo (VI): no detectable.

[93] Fuente: CERTIMEX (2014)

CUADRO 45. Sustancias para el control de plagas y enfermedades de las plantas.[94]

Denominación	Descripción; requisitos de composición y condiciones de uso
I. Vegetales y animales	
Azadiractina extraída de *Azadirachta indica* (árbol del nim).	Insecticida.
Cera de abejas.	Agente para la poda.
Proteína hidrolizada.	Atrayente, solo en aplicaciones autorizadas en combinación con otros productos apropiados de la presente lista.
Lecitina.	Fungicida.
Aceites vegetales (por ejemplo, aceite de menta, aceite de pino).	Insecticida, acaricida, fungicida e inhibidor de la germinación
Piretrinas extraídas de *Chrysanthemun cinerariafolium*.	Insecticida.
Cuasia extraída de *Quassia amara*.	Insecticida y repelente.
Ácidos naturales (por ejemplo vinagre).*	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Producto de la fermentación de *Aspergillus*.*	…..
Extracto de hongos (hongo *Shiitake*).*	…..
Extracto de *Chlorella*.*	…..
Preparados naturales de plantas*.	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Preparación de tabaco*.	Excepto nicotina pura.
Polvos minerales (polvo de piedra, silicatos).*	…..
Tierra diatomácea.*	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Silicatos, arcilla (Bentonita).*	…..
Silicato de sodio.*	…..
Bicarbonato de sodio.*	…..
II. Microorganismos utilizados para el control biológico de plagas y enfermedades	
Microorganismos (bacterias, virus, hongos).	
III. Sustancias producidas por microorganismos	
Espinosad.	Insecticida Solo si se toman medidas para minimizar el riesgo de parasitoides importantes y de desarrollo de la resistencia.

[94] Fuente: CERTIMEX (2014)

CUADRO 46. Continuación del cuadro 45, sustancias para el control de plagas y enfermedades de las plantas.[95]

Denominación	Descripción; requisitos de composición y condiciones de uso
I. Sustancias que se utilizarán sólo en trampas y/o dispersores	
Feromonas.	Atrayente; perturbador de la conducta sexual; solo en trampas y dispersores
Piretroides (solo deltametrina o lambdacihalotrina).	Insecticida; solo en trampas con atrayentes específicos; únicamente contra *Batrocera oleae* y *Ceratitis capitata* Wied.
II. Preparados para su dispersión en la superficie entre las plantas cultivadas	
Fosfato férrico [(ortofosfato de hierro (III)]	Molusquicida
III. Otras sustancias utilizadas tradicionalmente en la agricultura ecológica	
Cobre en forma de hidróxido de cobre, oxicloruro de cobre, oxido de cobre, caldo bordelés y sulfato de cobre tribásico.	Fungicida. Hasta 6 kg de cobre por ha y año. No obstante lo dispuesto en el párrafo anterior, en el caso de los cultivos perennes, CERTIMEX podrá autorizar que el límite de 6 kg de cobre pueda excederse durante un año determinado, siempre que la cantidad media empleada efectivamente durante un período de 5 años que abarque este año más los cuatro años anteriores no supere 6 kg.
Etileno	Desverdizado de plátanos, kiwis y kakis; desverdizado de cítricos, solo cuando forme parte de una estrategia destinada a impedir que la mosca dañe el cítrico; inducción de la floración de la piña; inhibición de la brotación de patatas y cebollas.
Sal de potasio rica en ácidos grasos (jabón suave).	Insecticida.
Polisulfuro de calcio.	Fungicida, insecticida, acaricida.
Aceite de parafina.	Insecticida, acaricida.
Arena de cuarzo.	Repelente.
Azufre.	Fungicida, acaricida, repelente.

[95] Fuente: CERTIMEX (2014)

CUADRO 47. Continuación del cuadro 46, sustancias para el control de plagas y enfermedades de las plantas.[96]

Denominación	Descripción; requisitos de composición y condiciones de uso
Repelentes (por el olor) de origen animal o vegetal/grasa de ovino	Solo para partes no comestibles del cultivo y cuando el material del cultivo no sea ingerido por ovejas o cabras.
Jabón de potasio (jabón blando).*	…..
Alcohol etílico.*	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Preparados homeopáticos y ayurvédicos.*	…..
Preparaciones de hierbas y biodinámicas.*	.....
I. Otras sustancias	
Silicato de aluminio (caolín).	Repelente.
Hidróxido de calcio.	Fungicida. Solo para árboles frutales (incluso en viveros), para el control de *Nectria galligena.*
Laminarina	Inductor de los mecanismos de autodefensa del cultivo. Las laminarinas se cultivan de forma ecológica.
Hidrogenocarbonato de potasio (Bicarbonato de potasio)	Fungicida e insecticida.

[96] Fuente: CERTIMEX (2014)

CUADRO 48. Análisis de laboratorio de muestra de dolomita.[97]

Forma oxidada	Unidad	Cantidad
SiO_2	%	34.47
TiO_2	%	0.243
Al_2O_3	%	7.061
Fe_2O_3	%	2.772
MnO	%	0.055
MgO	%	8.383
CaO	%	21.243
Na_2O	%	0.953
K_2O	%	1.486
P_2O_5	%	1.426
P x C*	%	22.070
Suma	%	100.162

CUADRO 49. Análisis de laboratorio de muestra de zeolita natural.[98]

Forma oxidada	Unidad	Cantidad
CO_2	%	36.61
Na_2O	%	0.38
MgO	%	8.53
Al_2O_3	%	8.1
SiO_2	%	27.860
K_2O	%	2.11
CaO	%	13.740
FeO	%	2.640

[97] Fuente: Análisis en departamento de geoquímica, UNAM. *P x C= pérdida por calcinación.
[98] Fuente: Colegio de Michoacán.

CUADRO 50. Análisis de laboratorio de muestra de leonardita.[99]

Elemento	Unidad	Cantidad
K	ppm	159
Ca	ppm	4424
Mg	ppm	396
Na	ppm	112
Fe	ppm	16.3
Zn	ppm	0.3
Mn	ppm	6.3
Cu	ppm	1.01
S	ppm	29.4
pH		7.9

CUADRO 51. Análisis de laboratorio de muestra de roca fosfórica. [100]

Forma oxidada	Unidad	Cantidad
SiO_2	%	10.005
TiO_2	%	0.089
Al_2O_3	%	3.283
Fe_2O_3 t.	%	0.91
MnO	%	0.036
MgO	%	0.043
CaO	%	43.161
Na_2O	%	0.507
K_2O	%	0.061
P_2O_5	%	31.073
P x C*	%	4.15
Suma	%	93.369
pH		7.25

[99] Fuente: Análisis químico en Fertilab.
[100] Fuente: Análisis en departamento de geoquímica, UNAM. *P x C= pérdida por calcinación.