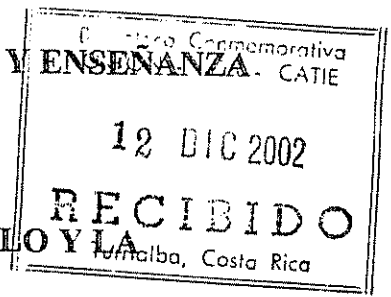


Microorganismos no patógenos predominantes en la filosfera y rizosfera del café y su relación sobre la incidencia de enfermedades foliares y población de nematodos fitopatógenos en los sistemas convencional y orgánico

MAURICIO XAVIER CARCACHE VEGA

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
(CATIE)



**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA
CONSERVACIÓN**

ESCUELA DE POSGRADO

**"MICROORGANISMOS NO PATÓGENOS PREDOMINANTES EN LA
FILOSFERA Y RIZOSFERA DEL CAFÉ Y SU RELACIÓN SOBRE LA
INCIDENCIA DE ENFERMEDADES FOLIARES Y POBLACIÓN DE
NEMATODOS FITOPATÓGENOS EN LOS SISTEMAS CONVENCIONAL
Y ORGÁNICO**

Por

✓
Mauricio Xavier Carcache Vega

**Turrialba, Costa Rica
2002**

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE)

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**"MICROORGANISMOS NO PATÓGENOS PREDOMINANTES EN
LA FILOSFERA Y RIZOSFERA DEL CAFÉ Y SU RELACIÓN
SOBRE LA INCIDENCIA DE ENFERMEDADES FOLIARES Y
POBLACIÓN DE NEMATODOS FITOPATÓGENOS EN LOS
SISTEMAS CONVENCIONAL Y ORGÁNICO**

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Postgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar por el grado de

Magister Scientiae

Por

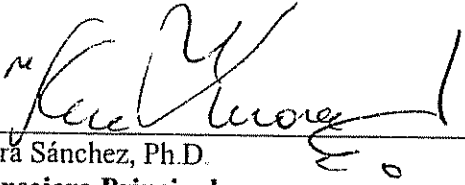
Mauricio Xavier Carcache Vega

**Turrialba, Costa Rica
2002**

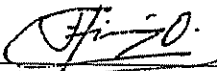
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE


FIRMANTES:




Vera Sánchez, Ph.D.
Consejero Principal



Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

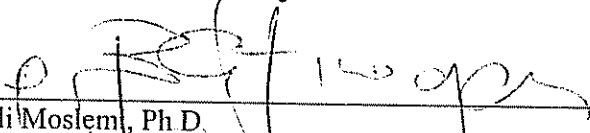


Reinhold Muschler, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

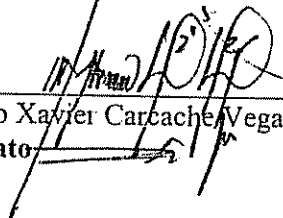


Luis Pocasangre, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Charles Staver, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Ali Moslem, Ph.D.
**Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado**



Mauricio Xavier Carcache Vega
Candidato

DEDICATORIA.

*A Jesucristo Salvador y Rey de Reyes,
Por todas las bendiciones que ha derramado sobre mí*

*A mis hijos Carlos Adolfo y Geovanny Mauricio,
Por ser el motivo de mis fuerzas y por la bendición de
estar a mi lado*

*A mi madre, Aura María Carcache,
Por ser el pilar del cual me sostengo y por todo el amor
que me ha brindado*

*A mi esposa Ilssen Del Socorro Lietsch G,
Por todos estos maravillosos años, por mis hijos y por
darme la oportunidad de ser padre, esposo y amigo*

*A mis abuelos, José Antonio Carcache y Kasta María Vega,
Por sus sabios consejos y por sus oraciones*

*A mis hermanos, Ricardo, Toño, Donald, Teresa, Karla, Kasta, Diocelina y Edipcia
Por tener la dicha de tenerlos y compartir con ellos*

*A José Ramón, José Antonio, Armando José, Ligia Victoria, Ana Celia, Leonor;
Bibiana, Nora, Norma y Francisco,
Por el papel formador que jugaron en los diferentes
momentos de mi vida.*

*A mis primos Marcos, Jorge, José Antonio, José Ramón, Cristian, Danny, Carlos,
Marlon, Ana María, Lizbeth, Loreto, Javier, Bladimir, Axel, Tatiana
Por la interacción que ser familia nos ha permitido tener*

*A mis grandes amigos, Olivier Rondón, Domingo Feliz, Ymber Flores, Hugo Calderón,
Francisco Fajardo, Guillermo González y Noemí Mercado.
Por esos buenos momentos que hemos compartido juntos*

*Al proyecto CATIE/MIP-AF (NORAD),
Por haber sido la institución que me formó*

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a:

El personal del proyecto CATIE/MIP-AF (NORAD), por la oportunidad de ser parte del equipo y por todo el apoyo y la buena voluntad.

Charles Staver, Elida Méndez, Elia Kuan, Pascal Chaput, Rosa Rugama, Danilo Padilla, David Monterroso, Silvia Castillo, Silvia y por la amistad que me han brindado.

Vera Sánchez, Por todo su empeño en la finalización de este trabajo de investigación.

Los miembros del comité asesor Drs. Charles Staver, Francisco Jiménez, Reinhold Muschler y Luis Pocasangre, por su apoyo y aportes en los diferentes momentos de la investigación.

Manrique González; Gilberto Ramírez y Aldo Sánchez, por su amistad y todo el apoyo que me brindaron durante la fase de campo y Arturo Gamboa, por su colaboración en la fase de laboratorio.

Gustavo López y Alejandro Cedeño, por su amistad y apoyo durante el análisis de los datos.

Mis amigos Jorge Cruz, Mercedes, Róger Meneses, Yoseth Mata, Rodrigo Cerrud, Lester Rocha, Marcia, Tangaxuan Llanderal, Lorena, Marquito, Arlen Córdoba, Héctor Ávila, Yanneth Cárdenas, Katewska Andrew, José Luis Meneses, Luis Alvarado, Luigi Francesqui, Isis Pinto, Alfredo Ruiz, Lea Montes, Pablo Madríz, por todo ese cariño hacia mí y los míos.

Jorge Durán, Carmen Solano, Marlene Murillo, Martha González, Hannia Fernández, Noily Navarro, Janneth Solano, Ariadne, Gerardo y Alfonso por su apoyo, amistad y por esa fina atención para mí y mi familia.

Mis amigos de CATIE, Sergio Velásquez, Eddy Salazar, Rodrigo Coto, Ricardo Campos, Alex Calderón, Janneth Solano, Carlos Madrigal, Diego Zamora, Edgar Brenes, David Quiróz, Francisco Jamienson, Francisco López, Rosibell Ramírez y el buen Dr Gilberto Páez.

Ernest Carman y los hermanos Meza, por haberme permitido realizar la investigación en sus fincas y por todo el apoyo que me brindaron en la etapa de campo.

Todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron a la realización de este trabajo.

Todos mis compañeros de maestría y amigos de la promoción, por esos buenos momentos que pasamos compartiendo en estos dos años.

BIOGRAFÍA

El autor nació en León, Nicaragua el 04 de agosto de 1971. realizó sus estudios primarios en el Colegio Santo Domingo De Guzmán en la ciudad de Rivas y los estudios secundarios en el Colegio Nuestra Señora del Rosario de Fátima de la ciudad de Rivas y el Colegio Eddie Quiróz en la ciudad de León.

Efectuó estudios de técnico medio en el centro agrícola Calasanz-MILT en León, en el periodo 1987-1989.

Efectuó los estudios universitarios en la Universidad Nacional Agraria en Managua, Nicaragua donde obtuvo el grado de Ingeniero Agrónomo con mención en Sanidad Vegetal, en Diciembre de 1996.

De 1996 a 1997 cooperó con el programa CATIE/MIP (NORAD) en proyecto de investigación en el área de granos básicos.

De 1997-2000 se desempeñó como docente en la Universidad Nacional Agraria, impartiendo los cursos de microbiología, microbiología de suelos, manejo integrado de plagas, parasitoides agrícolas, manejo e identificación de malezas, fitopatología y plagas y enfermedades forestales.

Durante el año 2000 laboró para el proyecto CATIE/MIP-AF (NORAD) en el área de granos básicos, desarrollando materiales de capacitación en el cultivo de frijol para capacitadores y productores de granos básicos.

Miembro de la Asociación Nicaragüense de Fitopatología (ASONIFI).

Miembro de la Sociedad Americana de Fitopatología, División del Caribe (APS-CD).

Miembro del grupo Interinstitucional de Granos de Nicaragua (GIIGA).

En enero del 2001 ingresó al programa de estudios de postgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, Costa Rica donde obtuvo el grado de Magister Scientiae en diciembre del 2002.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
BIOGRAFÍA.....	v
CONTENIDO.....	vi
RESUMEN.....	ix
SUMMARY.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE CUADROS.....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.2 HIPÓTESIS.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 El cultivo del café.....	5
2.2 Caficultura convencional.....	6
2.3 Caficultura orgánica.....	6
2.4 Principales enfermedades del café.....	7
2.4.1 Estrategias del manejo de enfermedades.....	8
2.5 Factores meteorológicos en sistemas sol-sombra.....	9
2.5.1 Microclima como regulador del comportamiento de enfermedades en cafetales de sombra.....	10
2.6 Características de la filosfera y rizosfera de una planta.....	11
2.6.1 Fuentes y disponibilidad de nutrientes para microorganismos de la filosfera y rizosfera de las plantas.....	12
2.6.2 Factores que intervienen en la colonización de la Filosfera.....	13
2.7 Dinámica de las poblaciones de microorganismos en la filosfera.....	14
2.7.1 Factores ecológicos que afectan a los microorganismos en la filosfera.....	15
2.8 Nematodos fitoparásitos.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1 Generalidades y ubicación del experimento.....	18
3.2 Características de las fincas.....	18
3.2.1 Finca de producción orgánica.....	18
3.2.2 Cafetal bajo manejo convencional.....	19

3.3	Diseño de muestreo	20
3.4	Incidencia de enfermedades foliares	21
3.4.1	Variables evaluadas	21
3.5	Evaluación de la población de nematodos	22
3.5.1	Procesamiento de muestras y extracción de nematodos	22
3.5.2	Variables evaluadas	23
3.6	Evaluación de poblaciones de microorganismos no parasíticos sobre el filoplano del cafeto	24
3.6.1	Aislamiento de microorganismos	24
3.7	Evaluación de factores meteorológicos	25
3.8	Diseño del experimento	26
3.8.1	Análisis de datos	26
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1	Factores microclimáticos	27
4.1.1	Temperatura, humedad relativa y precipitación dentro de los cafetales	27
4.1.2	Precipitación	29
4.1.3	Temperatura y humedad relativa entre plantas e hileras y temperatura del suelo en las fincas bajo manejo orgánico y convencional	30
4.2	Fertilidad del suelo en los sistemas convencional y orgánico	34
4.3	Promedios de hojas por estrato, en los cafetos del sistema convencional y orgánico	38
4.4	Incidencia de las enfermedades foliares y su relación con los factores microclimáticos	39
4.4.1	Incidencia de Ojo de gallo (<i>Mycena citricolor</i> Berk et Curt)	39
4.4.2	Incidencia de roya (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk & Br)	41
4.4.3	Incidencia de Mancha de Hierro (<i>Cercospora coffeicola</i> Berk & Coke)	44
4.4.4	Incidencia de Antracnosis (<i>Colletotrichum spp</i> Noak) y Derrite (<i>Phoma costarricensis</i>)	47
4.4.5	Incidencia de las enfermedades en cada sistema	49
4.5	Población de microorganismos epifitos sobre el filoplano de los cafetos manejados orgánica y convencionalmente y evaluación del efecto de las variables ambientales sobre su dinámica	54
4.5.1	Géneros y comportamiento de las colonias de hongos aislados del filoplano de los cafetos	54

4.5.2	Géneros y comportamiento de las colonias de bacterias aisladas del filoplano de los cafetos	56
4.6	Población de nematodos en las raíces y en el suelo de los cafetales convencional y orgánico	58
4.6.1	Nematodos en la raíz de los cafetos	59
4.6.2	Nematodos en el suelo	63
5.	CONCLUSIONES	68
6.	RECOMENDACIONES	71
7.	BIBLIOGRAFÍA CITADA	72
8.	ANEXOS	85

RESUMEN

Microorganismos no patógenos predominantes en la filosfera y rizosfera del café y su relación sobre la incidencia de enfermedades foliares y población de nematodos fitopatógenos en los sistemas convencional y orgánico

Palabras claves: Café orgánico, café convencional, manejo, factores climáticos, enfermedades, *Mycena citricolor*, *Hemileia vastatrix*, *Cercospora coffeicola*, microorganismos, hongos, bacterias, filosfera, población, nematodos, rizosfera

El café en Centroamérica constituye uno de los principales productos de exportación y contribuyó activamente hasta 1998 con el PIB nacional del Istmo. La mayor parte de superficie destinada al café se cultiva bajo manejo convencional, lo que provoca un debilitamiento de los cafetos que favorece el ataque de un número amplio de patógenos, principalmente hongos y nematodos que causan pérdidas en este cultivo. Muchos investigadores coinciden que el incremento de las enfermedades en café, son el producto de disturbios en el balance microbiológico del filoplano como un efecto de las aplicaciones de sustancias químicas para el manejo de enfermedades. Por otro lado, existe poca información sobre el comportamiento de las poblaciones de microorganismos bajo condiciones de manejo orgánico y convencional.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el desarrollo de las enfermedades y el comportamiento de las poblaciones de microorganismos sobre la filosfera y población de nematodos en la rizosfera de los cafetos en una finca convencional y otra orgánica. Así como evaluar las interacciones entre los factores ambientales y el comportamiento de estas poblaciones de microorganismos.

En cada una de las fincas se seleccionaron 10 sitios de muestreo con 10 plantas dispuestas en dos hileras contiguas de 5 plantas, representando así una hilera el estrato inferior y la otra el estrato superior de los cafetos. En cada planta y estrato se seleccionó una rama plagiotrópica en la cual se evaluó el comportamiento de las enfermedades. A su vez se colectó dentro del follaje una hoja sana por planta y estrato para estudiar la composición microbiológica de filoplano. Estos dos tipos de muestreo se llevaron a cabo cada 14 días desde marzo hasta julio del 2002. También se efectuaron muestreos bimensuales de suelo y raíces para estudiar el comportamiento de las poblaciones de nematodos y se colocó una caseta con instrumentos meteorológicos en cada uno de los sistemas.

Las variables evaluadas incluyeron incidencia de las enfermedades foliares por estrato, población de nematodos, población de microorganismos epífitos, temperatura, humedad relativa y precipitación diaria y análisis de fertilidad de los suelos.

Cada sistema presentó un comportamiento singular en cada una de las enfermedades foliares. *Mycena citricolor* tuvo mayor incidencia en el cafetal orgánico y *Hemileia vastatrix* y *Cercospora coffeicola* en el cafetal convencional. *Colletotrichum spp* y *Phoma costarricensis* fueron menos importantes.

Los géneros de microorganismos encontrados en este estudio incluyeron hongos, bacterias, algas, levaduras y mohos mucilaginosos. La población de hongos epífitos fue mayor en el sistema convencional y las bacterias presentaron mayores poblaciones en el sistema orgánico. Los géneros de hongos y bacterias predominantes tanto en el sistema convencional como en el orgánico fueron *Fusarium*, *Geotrichum* y *Rhizopus* en los hongos y *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Xanthomonas* en las bacterias.

La población de nematodos en la raíz de los cafetos fue mayor en el sistema convencional. *Meloidogyne* y *Pratylenchus* fueron los géneros predominantes en la raíz y *Pratylenchus*, *Tylenchus* y *Helicorylenchus* fueron los géneros que presentaron las mayores poblaciones en el suelo, siendo *Pratylenchus* el género más predominante tanto en el sistema orgánico como en el convencional.

La población de nematodos de vida libre encontrados en la raíz fue mayor en el cafetal convencional. Por otro lado la población de nematodos de vida libre en el suelo fue superior a la de nematodos fitoparásitos en ambos sistemas de manejo.

Los factores climáticos como la temperatura, humedad relativa y precipitación fueron similares en ambas plantaciones y se encontraron correlaciones entre estos factores, el desarrollo de las enfermedades y el número de colonias de microorganismos epifitos sobre el filoplano de los cafetos bajo manejo orgánico y convencional.

Se encontraron correlaciones entre el número de colonias de microorganismos epifitos y el desarrollo de las enfermedades.

Estos resultados sugieren que bajo las condiciones en las que se desarrolló este estudio, el impacto de las enfermedades foliares en cada uno de los sistemas estuvo relacionado a la enfermedad principal en cada plantación. Existe correlación entre las enfermedades y el número de colonias de microorganismos epifitos sobre el filoplano. Las poblaciones de nematodos en la raíz representan un alto factor de riesgo. La población de nematodos no parasíticos demuestra que existe un restablecimiento del equilibrio poblacional de nematodos en el suelo y el potencial que representan en el manejo de las poblaciones de géneros fitoparásitos.

SUMMARY

Non-pathogenic microorganisms in the phyllosphere and rhizosphere of coffee and their relationship on the incidence of foliar diseases and plant pathogenic nematode in conventional and organic systems

Key words: Organic coffee, conventional coffee, management, climatic factors, diseases, *Mycena citricolor*, *Hemileia vastatrix*, *Cercospora coffeicola*, microorganisms, fungi, bacteria, phyllosphere, population, nematodes, rhizosphere.

Coffee in Central America is one of the main export products and it contributed actively until 1998 to the national GDP of the Isthmus. Most of area dedicated to coffee is cultivated under conventional management, what causes coffee susceptibility to the attack of a wide number of pathogens, mainly fungi and nematodes that cause crop loss. Many investigators coincide that the increasing number of coffee diseases, due to microbiological balance disturbance of the phylloplane as consequence of chemical substance application to control diseases. On the other hand, little information exists on the behavior of the populations of microorganisms under conditions of organic and conventional management.

The objective of this work was to evaluate the development of diseases, the behavior of microorganisms on the phyllosphere and nematode population in the rhizosphere of the coffee plants in fields under conventional and organic management. As well as to evaluate the interactions between the environmental factors and the behavior of these populations of microorganisms.

In each one of the fields 10 sampling places were selected with 10 plants distributed in two contiguous arrays of 5 plants, representing this, an array the inferior stratum and the other one the superior stratum of the coffee plants. In each plant and stratum a plagiotropic branch was selected to evaluate diseases behavior. A healthy leaf for plant and stratum was collected inside the foliage to study the microbiological composition of phylloplane. These two sampling types were carried out every 14 days from March until July 2002. Bimonthly samplings of soil and roots were also made to study the behavior of the populations of nematodes and meteorological instruments were placed in each one of the systems.

The evaluated variables included foliar disease incidence by stratum, population of nematodes, population of epiphytic microorganisms, temperature, relative humidity and daily precipitation and analysis of soil fertility.

Each system presented a singular behavior in each one of the foliar diseases. *Mycena citricolor* had higher incidence in the organic coffee plantation and *Hemileia vastatrix* and *Cercospora coffeicola* in the conventional coffee plantation. *Colletotrichum spp* and *Phoma costarricensis* were less important.

The genera of opposing microorganisms in this study included fungi, bacteria, algae, yeasts and mucilaginous molds. The population of fungi epiphytes was higher in the conventional system and the bacteria presented higher populations in the organic system. The predominant genera of fungi and bacteria in the conventional and the organic system were *Fusarium*, *Geotrichum* and *Rhizopus* and *Pseudomonas*, *Bacillus* and *Xanthomonas*.

The population of nematodes in the root of the coffees was higher in the conventional system. *Meloidogyne* and *Pratylenchus* were the predominant genera in the root and *Pratylenchus*, *Tylenchus* and *Helicotylenchus* were the genera that presented the highest populations in the soil, being *Pratylenchus* the most predominant in the organic and conventional system.

The population of free living nematodes in the root was higher in the conventional coffee plantation. On the other hand the population of free living nematodes in the soil were superior to that of nematodes pathogens in both management systems.

The climatic factors as the temperature, relative humidity and precipitation were similar in both plantations and there were correlations among these factors, the development of the diseases and the number of colonies of epiphytic microorganisms on the phylloplane of coffee plants under organic and conventional management.

There were correlations between the number of colonies of epiphytic microorganisms and the development of the diseases.

These results suggest that under the conditions of this study, the impact of the foliar diseases in each one of the systems varied according to the main disease in each plantation. A correlation exists between the diseases and the number of colonies of epiphytic microorganisms on the phylloplane. The populations of nematodes in the root represent a high factor of risk. The population of non parasitic nematodes demonstrates that a population balance of nematodes exists in the soil with a potential for the management of the populations of pathogens genera nematodes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Promedios de temperatura máxima, mínima y media registrados cada 14 días en un cafetal bajo manejo orgánico y otro convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica.....	28
Figura 2. Promedios de humedad relativa máxima, mínima y media, por periodo de 14 días en un cafetal bajo manejo orgánico y otro convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica ..	29
Figura 3. Promedios de precipitación registrada cada 14 días, durante el periodo de febrero a julio del 2002. Paraíso, Cartago, Costa Rica	30
Figura 4. Temperatura puntual, máximas y mínimas tomadas entre hileras y dentro de los cafetos del sistema convencional, Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.....	32
Figura 5. Temperatura puntual, máxima y mínima tomadas entre hileras y dentro de los cafetos del sistema orgánico, Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.....	32
Figura 6. Temperatura del suelo, tomada entre hileras y dentro de los cafetos en los sistemas convencional y orgánico, Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.....	32
Figura 7. Humedad relativa puntual, máxima y mínima tomadas dentro de los cafetos y entre hileras del sistema convencional, Paraíso, Cartago, Costa Rica.....	33
Figura 8. Humedad relativa puntual, máxima y mínima tomadas dentro de los cafetos y el carril del sistema orgánico, Paraíso, Cartago, Costa Rica	34
Figura 9. Promedio de hojas en los cafetos de las fincas Cristina y los Meza. Paraíso, Cartago, Costa Rica 2002.....	39
Figura 10. Incidencia de <i>Mycena citricolor</i> sobre el follaje de los cafetos en una finca orgánica y otra convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica 2002.....	40
Figura 11. Incidencia de <i>Hemileia vastatrix</i> sobre el follaje de los cafetos en una finca orgánica y otra convencional, Paraíso, Cartago, Costa Rica 2002	41
Figura 12. Efecto de la temperatura media y mínima, en el desarrollo de <i>H. vastatrix</i> en el sistema convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002	43
Figura 13. Efecto de la precipitación, sobre el desarrollo de <i>H. vastatrix</i> en el sistema convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica 2002.....	43
Figura 14. Incidencia de <i>Cercospora coffeicola</i> sobre el follaje de los cafetos en una finca convencional y otra orgánica, Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.....	45
Figura 15. Efecto de la precipitación sobre el desarrollo de <i>C. coffeicola</i> en el sistema convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.....	46
Figura 16. Efecto de la humedad relativa mínima sobre el desarrollo de <i>C. coffeicola</i> en el sistema convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002	46

Figura 17. Incidencia de <i>Colletotrichum spp</i> y <i>Phoma costarricensis</i> sobre el follaje de los cafetos de una finca convencional, Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.	47
Figura 18. Incidencia de <i>Colletotrichum spp</i> y <i>Phoma costarricensis</i> sobre el follaje de los estratos de los cafetos de una finca orgánica, Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.	48
Figura 19. Incidencia de las enfermedades totales en una finca convencional y otra orgánica Paraiso, Cartago, Costa Rica. 2002.	49
Figura 20. Incidencia de las enfermedades totales, por estrato en la plantación convencional y orgánica Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.	50
Figura 21. Incidencia de enfermedades totales, por estrato en el sistema convencional y su relación con la temperatura media Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.	51
Figura 22. Incidencia de enfermedades totales, por estrato en el sistema convencional y su relación con la precipitación Paraiso, Cartago, Costa Rica. 2002.	51
Figura 23. Incidencia de enfermedades totales, por estrato en el sistema convencional y su relación con la humedad relativa Paraiso, Cartago, Costa Rica. 2002.	52
Figura 24. Incidencia de enfermedades totales, por estrato en el sistema orgánico y su relación con la precipitación Paraiso, Cartago, Costa Rica. 2002.	53
Figura 25. Incidencia de enfermedades totales, por estrato en el sistema orgánico y su relación con la temperatura media Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.	53
Figura 26. Comportamiento del número de colonias de hongos sobre el filoplano de los cafetos y su relación con la precipitación en una finca convencional y otra orgánica Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.	55
Figura 27. Comportamiento del número de colonias de bacterias sobre el filoplano de los cafetos en una finca convencional y otra orgánica Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.	58
Figura 28. Comportamiento de las poblaciones de <i>Meloidogyne</i> y <i>Pratylenchus</i> en las raíces de los cafetos de una finca convencional y otra orgánica Paraiso, Cartago, Costa Rica. 2002.	59
Figura 29. Comparación entre las poblaciones de nematodos fitopatógenos secundarios y nematodos de vida libre en las raíces de los cafetos del sistema convencional y orgánico Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.	61
Figura 30. Comportamiento de las poblaciones de <i>Pratylenchus</i> , <i>Helicotylenchus</i> y <i>Tylenchus</i> en el suelo de la finca orgánica y convencional Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.	63
Figura 31. Comportamiento de las poblaciones de <i>Meloidogyne</i> y <i>Pratylenchus</i> en los suelos de las fincas orgánica y convencional Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.	64
Figura 32. Comparación entre la población de nematodos fitoparásitos y vida libre y su relación con la precipitación, en la finca convencional y orgánica Paraiso, Costa Rica 2002.	65

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Manejo agronómico del café en la finca orgánica	19
Cuadro 2. Manejo agronómico del café en la finca convencional	20
Cuadro 3. Promedios de temperatura y humedad relativa, máxima, mínima y media, registrados cada 14 días durante los meses de mayo a julio del 2002, en las fincas convencional y orgánica. Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.....	27
Cuadro 4. Promedios totales de temperatura y humedad relativa en la filofera, hilera y suelo de los cafetos bajo manejo orgánico y convencional Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.....	31
Cuadro 5. Análisis de fertilidad del suelo en el cafetal orgánico Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.....	37
Cuadro 6. Análisis de fertilidad del suelo en el cafetal convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.....	37
Cuadro 7. Resultados de las pruebas estadística que muestran las correlaciones entre el desarrollo de roya y las variables ambientales en el sistema convencional.....	42
Cuadro 8. Resultados de las pruebas estadística que muestran las correlaciones entre el desarrollo de mancha de hierro y las variables ambientales en el sistema convencional.....	45
Cuadro 9. Resultados de las pruebas estadística que muestran las correlaciones entre el desarrollo de las enfermedades y las variables ambientales en el sistema convencional.....	50
Cuadro 10. Resultados de las pruebas estadística que muestran las correlaciones entre el desarrollo de las enfermedades y las variables ambientales en el sistema orgánico.....	52
Cuadro 11. Número de colonias y porcentajes por género de hongos identificados en el filoplano de los cafetos en el sistema convencional y orgánico.....	54
Cuadro 12. Correlaciones entre la humedad relativa y el número de colonias de hongos sobre el filoplano de los cafetos de una finca convencional y otra orgánica Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.....	56
Cuadro 13. Número de colonias y porcentajes en cada uno de los grupos de bacterias aislados del filoplano de los cafetos de una finca orgánica y otra convencional Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.....	57
Cuadro 14. Géneros y población de nematodos por 5gr de raíz en la finca convencional y orgánica Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.....	62

Cuadro 15. Géneros y población de nematodos por 100gr de suelo en la finca convencional y orgánica. Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002	62
Cuadro 16. Correlaciones entre la humedad del suelo y géneros de nematodos, en una finca orgánica y otra convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.....	66
Cuadro 17. Correlaciones entre el pH del suelo y géneros de nematodos, en una finca orgánica y otra convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.....	66
Cuadro 18. Correlaciones entre elementos del suelo y géneros de nematodos en una finca orgánica y otra convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.....	67

1 INTRODUCCIÓN

América Central es la tercera región cafetalera del mundo, y el café es uno de sus principales productos de exportación. Por lo tanto este cultivo está estrechamente ligado al desarrollo socioeconómico del Istmo y es el que más ha contribuido a formar el paisaje de las cordilleras volcánicas (Bertrand y Rapidel, 1999).

En Nicaragua, hasta 1998, el café significó el 5.8% de las exportaciones, 28%-30% de la producción agrícola nacional con un volumen de 1.4 millones de sacos de café oro por año (MAG, 1998) y una fuente de empleo para unas 180.000 familias, proveyendo unos 230.000 empleos temporales y 45.000 empleos permanentes (PANIF, 1998).

En El Salvador el cultivo del café contribuyó durante el periodo 1980-1998 con un 9.5% al PIB nacional y su aporte al PIB agropecuario fue de 64.2%. A su vez el café genera trabajo permanente durante todo el año en el área rural, que representa aproximadamente el 60% de la población nacional. Dentro de la estructura de la composición de costos, se estima que la mano de obra ocupa entre un 70-80% del costo total del cultivo. Esto significa 35.904 jornales fijos y eventuales al año del total de 46.280 jornales que proporciona la agricultura Salvadoreña (Asociación Cafetalera de El Salvador, 2000).

En Guatemala el café abarca 269.000 ha, distribuidas en 43.700 caficultores, dentro de una superficie cultivable de 4.200.000 ha, de las cuales el resto de productos tradicionales de exportación como el banano, caña de azúcar, cardamomo y la carne, ocupan en conjunto 482.000 ha (Sánchez, 1991).

En Costa Rica el cultivo del café cubre un área superior a los 89.881 ha y representa aproximadamente un 27% de la fuerza de trabajo del país, lo que significa aproximadamente 62.054 personas trabajando todo el año. Del total de explotaciones agropecuarias el 34% se dedica al cultivo de café (ICAFE-MAG, 1989).

En Honduras, el cultivo del café se encuentra en 14 de los 18 departamentos del país, que significan 350.000 ha en 85.314 fincas y un volumen de producción para venta de 3 millones de sacos en 1997 (Osorio, 1997).

El café es un cultivo atacado por un número bastante amplio de patógenos fungos que le producen enfermedades foliares, que junto con plagas insectíles, causan pérdidas dentro de este cultivo. Entre estos patógenos podemos mencionar: mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), roya (*Hemileia vastatrix*), antracnosis (*Colletotrichum coffeanum*), ojo de gallo (*Mycena citricolor*), derrite (*Phoma costarricensis*) que han sido ampliamente estudiados (Guilligan, 1983).

Actualmente la mayoría de los investigadores coinciden en que los disturbios en el balance microbiológico del filoplano, son producto de la aplicación de sustancias químicas como los fungicidas, los cuales han contribuido al desarrollo de enfermedades previamente sin importancia como la marchitez de la cereza del café causada por *C. coffeanum*, debido probablemente a la aplicación de cúpricos que produjeron una reducción de sus antagonistas (Carter y Price, 1974). Por otro lado, la superficie de partes aéreas de las plantas proveen un hábitat para microorganismos epifitos, muchos de los cuales se comportan como antagonistas naturales de patógenos (Blakeman y Folkema, 1982).

Muchos patógenos que habitan en el suelo, también son causa importante de pérdidas en la producción (Miller, 1975). En América Central, los nematodos del cafeto más frecuentes son *Meloidogyne spp* (endoparásito sedentario) y *Pratylenchus spp* (endoparásito migrador) (Araya-Vargas, 1994), los cuáles causan grandes daños a las plantaciones de cafetos.

Para el manejo de las enfermedades, la regulación de microambientes ha sido una de las prácticas más recomendadas. Sin embargo, la acción de la sombra como un regulador del microclima en el sistema, es muy variable y está condicionado por el tipo y arquitectura de los árboles de sombra, su manejo y su densidad dentro del campo (Guharay *et al.*, 2000). Por otro lado la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo provee varios beneficios como el mejoramiento de la textura y fertilidad del suelo, producción de sustancias antagónicas a patógenos y aumento en la biomasa de organismos benéficos (Rivera y Hernández, 2001). Por lo tanto, el entendimiento del efecto del manejo de la sombra y la aplicación de enmiendas orgánicas, pueden ser críticos para favorecer la actividad de los enemigos naturales presentes en la filosfera y rizosfera del sistema (Kinkel, 1997; Jenkins y Taylor, 1967).

Este trabajo está dirigido a determinar el comportamiento de los microorganismos no patogénicos en la filosfera y nematodos en la rizosfera de los cafetos y su relación con el desarrollo de las enfermedades, así como evaluar el efecto de los factores ambientales sobre sus poblaciones.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo general

- * Determinar el comportamiento de los microorganismos predominantes en la filosfera y rizosfera del café, su relación sobre la incidencia de enfermedades foliares y población de nematodos fitopatógenos en los sistemas orgánico y convencional; así como relacionar las variables ambientales con la dinámica de los grupos de microorganismos encontrados.

Objetivos específicos

- * Evaluar la incidencia de las enfermedades del cafeto bajo sistema convencional y orgánico.
- * Determinar el comportamiento en el tiempo de los diferentes grupos de microorganismos no patogénicos sobre el filoplano y población de nematodos en la rizosfera del café en dos fincas, una bajo manejo convencional y otra con manejo orgánico.
- * Relacionar el efecto de las variables microclimáticas sobre el comportamiento de las poblaciones de microorganismos habitantes de la filosfera y rizosfera del cafeto.
- * Establecer las posibles relaciones entre las poblaciones de microorganismos encontrados en la filosfera del cafeto y la dinámica de las enfermedades foliares de este cultivo.
- * Establecer las posibles relaciones entre la población de nematodos no parasíticos encontrados en la rizosfera y la dinámica de los nematodos fitopatógenos en el suelo.

1.2 HIPÓTESIS

- * La incidencia de enfermedades foliares es igual en los cafetos bajo sistema de manejo orgánico y convencional.
- * El comportamiento de los grupos de microorganismos no patogénicos sobre el filoplano y la población de nematodos en la rizosfera de los cafetos, es similar en ambos sistemas de manejo.

- * Las variables microclimáticas en ambos sistemas no difieren y no poseen relación alguna con el comportamiento poblacional de los microorganismos presentes en los estratos de la planta
- * La incidencia de las enfermedades foliares en las plantas de café, no poseen relación con el microclima, ni con la población de microorganismos presentes
- * La población de los nematodos fitopatógenos, no posee relación con la población de nematodos no parasíticos en el suleo

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El cultivo del café

El café es una planta umbrófila, fue descubierta en Etiopía creciendo bajo la sombra de los árboles en el bosque (Gopal *et al.*, 1970), razón por la cual con frecuencia se le encuentra cultivado bajo árboles de sombra como *Erythrina spp.*, *Inga spp.*, maderables o frutales (Figueroa *et al.*, 1998)

A partir de mediados del siglo XVIII, fueron introducidas algunas semillas o plantas de café al Pacífico Centroamericano, provenientes directa o indirectamente del Caribe. Tras una asombrosa aclimatación en las tierras volcánicas de los valles intermontanos y hacia finales del periodo colonial, se encontraban cafetos en jardines y huertos de clérigos y otros pobladores notables de la Capitanía de Guatemala. Sin embargo resulta difícil precisar, cuándo se inició el cultivo del café en Centroamérica, pero si se conoce que por medio de Cuba, llegó al Istmo Centroamericano el modelo tecnológico inicial (Samper, 1999)

Las condiciones óptimas para el café se presentan entre 1200 y 1700 msnm, 17 - 23 °C, 1600 mm a 1800 mm de precipitación y 70 - 95% de humedad relativa (Figueroa *et al.*, 1998). Temperaturas inferiores a 10 °C, producen clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes por la muerte de cloroplastos, así como un lento crecimiento de los frutos. Altas temperaturas aceleran la senectud, causan anomalías en la floración e inducen el ataque de plagas y enfermedades. Las precipitaciones menores a los 1000 mm anuales, limitan el crecimiento de la planta y por lo tanto la cosecha del año siguiente. Un periodo prolongado de sequía propicia la defoliación y muerte de la planta y precipitaciones mayores de 3000 mm deterioran la calidad física del café oro, la calidad de la taza y el control fitosanitario de la plantación es más caro (Sánchez, 1991).

Para este cultivo, se recomiendan suelos profundos, ligeramente ácidos (pH 5-6.5), ricos en nutrientes, con buena retención de humedad, pendiente entre 1 - 15% y un 60 % de espacio poroso (Figueroa *et al.* 1998)

2.2 Caficultura convencional

La caficultura convencional, se basa en tecnologías modernas para la producción, que incluye el uso de agroquímicos sintéticos, como: insecticidas, funguicidas, herbicidas, nematocidas y fertilizantes. Hace énfasis principalmente en altas producciones por unidad de área y es normalmente caracterizada por la presencia de plantaciones a pleno sol (López de León y Mendoza, 1999)

Los efectos negativos de la producción de café de alto insumo no son algo nuevo. Desde hace aproximadamente 100 años existen informes sobre los efectos negativos del manejo convencional, principalmente en variedades de pleno sol, con las cuales se pretende aumentar la producción. Se sabe que requieren mayores cantidades de insumos como plaguicidas y fertilizantes químicos, lo que los asocia con bajos niveles de calidad ambiental en comparación con los sistemas bajo sombra. Intoxicaciones agudas y crónicas, contaminación de aguas, residuos en granos, contaminación en suelos, peces y vida silvestre, resistencia a plagas, erosión de los suelos, son algunos de los problemas que han generado la utilización de estos insumos en el café convencional (Boyce *et al.*, 1994)

2.3 Caficultura orgánica

Los sistemas de producción orgánica de café, se basan en la conservación y el mejoramiento de la fertilidad del suelo, el uso apropiado de la energía y el estímulo de la biodiversidad. Promueven el manejo integral de las plantaciones, mediante técnicas e insumos compatibles con el ambiente, se excluye el uso de agroquímicos sintéticos (López de León y Mendoza, 1999). Por tanto, el café orgánico es producto de una forma de cultivo que recurre a diversas labores culturales para el manejo de malezas y plagas, sin utilizar insumos de naturaleza contaminante. El café orgánico no es simplemente un producto natural, o sea producto del abandono, en el cual no se recurre a tecnologías de cultivo y a insumos especialmente producidos o proveídos; al contrario, se basa en un enfoque tecno-ecológico que se puede llamar “la ciencia de la agricultura orgánica (Boyce *et al.*, 1994)

2.4 Principales enfermedades del café

Hemileia vastatrix Berk & Br (roya)

La roya del cafeto es un parásito obligado que afecta fundamentalmente las hojas. Se manifiesta con pequeñas manchas cloróticas de 1 a 2 mm de diámetro que evolucionan hacia un color amarillo. No obstante estas manchas pueden alcanzar diámetros de hasta 2 cm y bajo el envés de las hojas se puede observar la producción de uredosporas amarillas o naranja. La importancia de la enfermedad, es que una vez que ha atacado, las hojas afectadas caen prematuramente, lo que retarda el crecimiento en plantas jóvenes y produce muerte regresiva en plantas adultas (Avelino *et al.*, 1999).

La incidencia de la roya es favorecida por temperaturas que oscilan entre 21 a 25 °C, la precipitación y la humedad son factores que junto con la temperatura inciden en el desarrollo de la enfermedad. Para la penetración del hongo es necesaria la presencia de agua libre por un periodo no menor de 5 horas, lo cual sucede en días de lloviznas o en presencia de rocío (Rayner, 1961). Cuando la lluvia golpea las hojas con lesiones, se liberan las esporas y se diseminan hacia hojas sanas. Durante el año, la roya presenta diferentes fases: baja incidencia en la época seca, un incremento de la severidad hasta alcanzar el máximo y la caída de las hojas que coincide con la disminución de las lluvias (Cadena, 1982).

Cercospora coffeicola Berk & Cook (chasparría, mancha de hierro)

Esta enfermedad presenta una amplia distribución en todas las zonas cafetaleras. Afecta hojas y granos en plantas de todas las edades, puede producir una severa defoliación y una disminución de la producción y calidad del grano. Los síntomas son lesiones con anillos concéntricos bien definidos con un anillo color rojizo y un borde externo amarillo. En los frutos las lesiones aparecen principalmente en las partes expuestas al sol. En plantaciones a plena exposición solar o con poca sombra el ataque de esta enfermedad es más severo, sobre todo si no se ha fertilizado adecuadamente o existen deficiencias de potasio en las plantas (Monterroso, 1999). La enfermedad es favorecida por alta radiación solar, altas temperaturas y el rocío característico de las zonas bajas. No obstante puede manifestarse de igual manera en zonas altas (Van der Vossen y Cook, 1975).

Mycena citricolor Berk & Curt (Ojo de gallo)

El ojo de gallo es una enfermedad de zonas con climas muy húmedos, alta nubosidad o sombra densa. Los síntomas se manifiestan con puntos diminutos que se pueden ver a trasluz, que crecen formando manchas de color gris ceniciento de forma circular de 1-2 mm de diámetro, pero pueden alcanzar un tamaño máximo de 15 mm. El patógeno ataca hojas, ramas y frutos y es favorecido por condiciones de alta humedad y bajas temperaturas (Wang y Avelino, 1999). Temperaturas entre los 18°C-24°C y lluvias anuales entre los 2000 y 4000 mm son muy favorables (Cohen, 1952). El patógeno produce yemas asexuales y basidias en basidiocarpos y sobre las lesiones se pueden observar las yemas como filamentos amarillos que terminan en forma de cabezuela, las que constituyen sus órganos reproductivos (Wang y Avelino, 1999).

Colletotrichum spp Noack (Antracnosis)

Esta enfermedad es importante en plantaciones a plena exposición solar, ataca principalmente los frutos, pero puede producir daños en las flores, hojas y ramas (Figueroa *et al.*, 1998). Los frutos pueden ser atacados en cualquier etapa de su desarrollo, los síntomas se presentan como manchas hundidas de color oscuro, que pueden desarrollarse hasta cubrir la totalidad del fruto, entonces se momifican y caen. En las ramas se pueden apreciar manchas irregulares oscuras que a medida que crecen van formando un anillo que termina con la muerte de la rama (Guharay *et al.*, 2000). La enfermedad es favorecida por la presencia de las lluvias que inducen a la liberación y diseminación de las esporas que se forman en estructuras conocidas como acérvulos (Figueroa *et al.*, 1998). Esta enfermedad se ha asociado a lugares altos, fríos y con abundante precipitación, sin embargo se puede encontrar en todas las áreas cafetaleras, principalmente donde se ha cambiado bruscamente el sistema de cultivo o en lugares donde las exigencias nutricionales del cultivo se hacen más fuertes, como en cafetales a pleno sol o ubicados en laderas o plantaciones con deficiencias en la fertilización (Guharay *et al.*, 2000).

2.4.1 Estrategias del manejo de enfermedades

Entre las estrategias más útiles del manejo de enfermedades, se considera la evitación (Zentmyer y Bald, 1977). Esta estrategia permite minimizar el nivel de inóculo, o bien lograr que la fase susceptible del cultivo, no coincida con una producción de inóculo potencialmente peligrosa, como efecto de un manejo del cultivo, orientado hacia las condiciones ambientales que limiten el

desarrollo de los organismos fitopatógenos o sus transmisores y así minimizar el impacto de las enfermedades (González 1979). Esto se puede lograr por medio de prácticas de cultivo como buena fertilización, uso de preparados botánicos, variedades resistentes, uso de cobertura, manejo de sombra, enmiendas orgánicas, entre otras. Además actualmente se ha considerado de suma importancia las labores que estimulan la acción y favorecen las poblaciones de los enemigos naturales de los patógenos y plagas (Figuerola et al., 1998).

2.5 Factores meteorológicos en sistemas sol-sombra

La sombra beneficia al café especialmente cuando se siembra en suelos de baja fertilidad y deficientes de agua, o en lugares con alta luminosidad como puede ocurrir a bajas elevaciones con respecto al nivel del mar, donde se producen condiciones de estrés por altas temperaturas (Muschler, 1997). Cafetales a plena exposición solar agotan la fertilidad natural de los suelos y se torna necesario la adición de fertilizantes (Gopal, 1970); además, los excesos de luz interfieren con la formación de compuestos volátiles, responsables del aroma y el sabor del café (Rayner, 1942). Los árboles de sombra protegen al café de la incidencia directa de los rayos del sol, lo que disminuye la evaporación del agua del suelo y la transpiración de las plantas (Carvajal, 1984). además proporciona sistemas microbiológicos necesarios para una resistencia natural contra la erosión y las plagas (Boyce et al., 1994).

Las variaciones de la temperatura del aire en el interior de un cafetal bajo sombrío, difieren con la altura sobre el nivel del suelo y permanecen más frías las capas inferiores. Las mayores diferencias se encuentran entre la superficie del suelo y un metro de altura, estas diferencias alcanzan hasta 4 °C en las horas de mayor radiación solar. No obstante la poca variación registrada en los diferentes estratos de la planta, implica una mayor duración tanto de la película de agua en las hojas como de la humedad dentro de la plantación bajo sombrío (Jaramillo, 1976)

La temperatura entre el aire del cultivo y la hoja dependen en primer lugar de la cantidad de radiación incidente durante el día. Como consecuencia de los balances de radiación y de energía en las plantaciones se presentan diferencias térmicas entre la planta y el aire circundante. A tal punto de encontrarse diferencias entre la temperatura del aire del cafetal y la superficie de una hoja alta expuesta a radiación solar directa, hasta de 10.2 °C, mientras que en hojas bajo sombrío las temperaturas entre estas y el aire del cafetal son similares. Las ramas y las hojas siguen durante el día un comportamiento semejante en cuanto a temperatura, pero las ramas permanecen más

calientes un mayor número de horas que las hojas, por consiguiente las ramas presentan una temperatura máxima más alta que la de las hojas y un enfriamiento más lento. Por otro lado la temperatura mínima del aire se presenta después de la temperatura mínima de las hojas y de las ramas en aproximadamente 15 minutos (Jaramillo y Gómez, 1989).

Las diferencias de temperaturas de las hojas entre especies y entre variedades pueden explicarse por diferencias morfológicas, anatómicas y fisiológicas entre los tipos de hojas, tales como: el área foliar, grosor de la lámina, contenido de clorofila, cantidad de radiación recibida, tasa de transpiración, cantidad de agua en la hoja y el intercambio de calor dependiente del transporte de agua en la planta (Zahner, 1968)

En lugares de alta nubosidad, los valores de temperaturas bajan bruscamente en las hojas expuestas, a valores similares a los de hojas autosombreadas. Las hojas autosombreadas tardan en reaccionar a los cambios en la energía térmica si se compara con hojas expuestas (Jaramillo y Gómez, 1989).

El comportamiento turbulento del viento dentro de las plantaciones, está determinado por la arquitectura del cafeto, el índice de área foliar, la distancia de siembra y las prácticas de cultivo tales como la sombra, la orientación de los surcos, entre otras. La velocidad del viento tiende a aumentar logarítmicamente con la altura debido a la disminución de la rugosidad de la superficie y menor fricción (Jaramillo y Gómez, 1989).

En sistemas bajo sombra, una menor velocidad del viento acompañado de bajos niveles de radiación dentro de las plantaciones, induce un menor calentamiento dentro del cultivo y con ello se originan menores tasa de evaporación (Jaramillo y Gómez, 1989), menos estrés y una mayor persistencia de las hojas sobre las plantas (González, 1998)

2.5.1 Microclima como regulador del comportamiento de enfermedades en cafetales de sombra

El sistema de manejo convencional del café, caracterizado por la reducción del uso de sombra, genera un ambiente particular que influye sobre la presencia de ciertos patógenos causantes de enfermedades como: mancha de hierro, antracnosis y mal de hilachas. Sin embargo un exceso de sombra como una alta densidad de esta en el sistema orgánico, puede incrementar enfermedades como el ojo de gallo (Beer *et al.*, 1998) No obstante se pueden utilizar diversas prácticas agrícolas

de origen cultural que pueden resultar desfavorables para el desarrollo de las enfermedades al modificar las condiciones microclimáticas del cultivo (Zentmyer y Bald, 1977)

En cafetales a pleno sol, la humedad relativa del aire es menor que bajo sombra, debido al comportamiento de la temperatura en el sistema. Esto lo confirma el hecho de que a 5, 10 y 30 cm de profundidad en el suelo, las temperaturas son superiores en cafetales a pleno sol que en aquellos sembrados bajo sombrío (Castro *et al.*, 1961). La sombra puede reducir la cantidad de luz entre un 60-80%, los árboles de sombra como *Inga spp.*, reducen la temperatura máxima entre 4-5°C en el cafetal (Barradas & Fanjul, 1986). Estas modificaciones del microclima influyen en el desarrollo de las enfermedades del café. En Nicaragua se han observado niveles de *H. vastatrix* más altos en condiciones de sombra, como respuesta a la alta humedad relativa que se produce en los estratos bajos de la planta de café. Mientras que *C. coffeicola* bajo condiciones de sombra no incrementó su severidad, pues las condiciones óptimas para su desarrollo son a pleno sol (Guharay *et al.*, 2000). Patógenos como *P. costarricensis* y *M. citricolor* se desarrollan principalmente en cafetales de nebliselva, en los cuales la sombra genera además de alta humedad relativa, el que las hojas no se sequen, lo que favorece el proceso de infección de estos patógenos (Wang y Avelino, 1999).

Además se ha observado que en condiciones de bajo sombreado (24%) se presenta mayor tasa de defoliación y renovación de hojas en el tiempo, por efecto de estrés y acortamiento de la longevidad de las hojas, en comparación a cafetos crecidos bajo niveles de sombra entre 44% a 55% (González, 1998).

2.6 Características de la filósfera y rizósfera de una planta

Todo lo que separa la superficie de la hoja del resto de elementos, es una frágil capa de aire de unos pocos milímetros de espesor conocida como filósfera. Es un medioambiente dinámico con variables ambientales cíclicas y no cíclicas que incluyen temperatura, humedad relativa, rocío, lluvia, viento y radiación. En la filósfera pueden ocurrir variaciones substanciales en tiempo y espacio e incluso a niveles adecuados para los microorganismos, por ejemplo la temperatura puede variar por varios grados a lo largo de la superficie de una hoja o filoplano (Burrage, 1971). El agua libre puede ser más baja sobre hojas expuestas en la periferia del follaje de una planta, que en las hojas protegidas entre esta y alta humedades pueden ser encontradas bajo sombrío o en áreas de cultivo denso (Waggoner, *et al.*, 1959). La deposición del rocío se presenta fragmentada, pudiendo ser más alta en el centro que en la periferia de una hoja (Burrage, 1971).

En contraste, las raíces están inmersas dentro de un medio relativamente denso, pero poroso (suelo), que las protege de los cambios a nivel de la rizosfera (atmósfera que rodea la superficie de las raíces o rizoplano). Además, el suelo actúa modificando algunos de los parámetros ambientales que tienen influencias sobre el follaje de las plantas, como la luz y atenúa variaciones de otros factores como la temperatura, humedad e imponen factores como las proporciones de flujos de O₂ y CO₂ que pueden ser de relativa poca importancia sobre el filoplano. Sin embargo es claro que las raíces viven en un ambiente más estable que el de las hojas y también ejercen considerablemente más control sobre su ambiente que el realizado por las hojas (Andrews, 1992).

2.6.1 Fuentes y disponibilidad de nutrientes para microorganismos de la filosfera y rizosfera de las plantas

Los nutrientes sobre la superficie de las hojas (filoplano), son originados endógena o exógenamente e incluyen diversos carbohidratos, aminoácidos, ácidos orgánicos, azúcares, alcoholes, trazas de elementos minerales, vitaminas y hormonas, como también, compuestos antimicrobiales como los fenoles y terpenoides (Blakeman y Atkinson, 1981). Los nutrientes son importantes no sólo por su efecto directo como substratos, sino también por efectos indirectos sobre la síntesis de antibióticos sobre el filoplano. La mayoría de los nutrientes sobre el filoplano a diferencia de la superficie de las raíces (rizoplano), se originan en fuentes externas a la planta, entre ellos tenemos: partículas de suelo, polvo, iones y solutos en agua de lluvia, mielecillas de áfidos, microorganismos muertos y excrementos de insectos y aves (Fokkema, 1971). No obstante, también se producen nutrientes endógenos que son removidos de las hojas por la acción de la lluvia, rocío o niebla o activa exudación por gutación a través de los hidátodos (Frossard, 1981). Todo lo anterior explica que la concentración de los nutrientes varía cuantitativa y cualitativamente en la filosfera, de acuerdo con la posición de la hoja, característica de su superficie, edad de la planta, luz, temperatura, fertilidad, pH, lixiviación, heridas en las hojas, entre otros (Derridj *et al.*, 1989).

A diferencia del filoplano, en el rizoplano las fuentes nutricionales son más ricas y constantes. Las raíces son el principal reservorio de nutrientes de la planta, por lo tanto fuentes externas son relativamente poco importantes. La mayor parte de los exudados radicales son compuestos complejos originados por tejidos jóvenes en los ápices de las raíces (Frossard & Fokkema, 1983). Se ha demostrado que menos del uno por ciento del carbono fotosintetizado, se encuentra en exudados de las hojas, mientras que el 25% o más de la materia orgánica de las raíces puede ser exudada (Lynch y Whipps, 1991). Foster *et al.* (1983) estimó los exudados radicales en 50-100 mg

$\text{g}^{-1} \text{ da}^{-1}$, teóricamente suficiente sustrato para soportar 2×10^{10} células bacterianas por gramo de raíz

2.6.2 Factores que intervienen en la colonización de la Filosfera

Al filoplano llegan microorganismos provenientes del suelo, semillas y el aire. Las bacterias pueden alcanzar las hojas desde el suelo, pues las bacterias que se originan en el suelo pueden perfectamente sobrevivir y crecer sobre las hojas (O'Brien y Lindow, 1989). Las esporas presentes en el aire son probablemente la fuente primaria de llegada de los hongos filamentosos (Blakeman, 1985)

Varios rasgos morfológicos de la superficie de las hojas, pueden tener una gran influencia sobre la colonización de la filosfera. Al permitir una distribución irregular del agua sobre las hojas, resulta en un crecimiento intermitente de los microorganismos, particularmente bacterias y hongos filamentosos, lo que constituye el problema principal para la sobrevivencia durante los periodos secos. La presencia de tricomas o depósitos cristalinos de ceras epiculares, incrementa la repelencia del agua en la superficie de la hoja y el lixiviado de sustancias de las hojas (Blakeman y Fokkema, 1982).

El patrón de colonización sobre una hoja individual, es localizado y heterogéneo, prefiriéndose sitios a lo largo de las venas y hendiduras de la pared de las células epidérmicas (Diem, 1974). Posiblemente por una mayor concentración de nutrientes y agua en estos sitios relativamente protegidos de los agentes meteorológicos. No obstante algunos microorganismos pueden presentar patrones muy particulares (Andrews, 1992). En el filoplano, al inicio se presenta dominancia temprana de bacterias seguida por un rápido incremento de levaduras y eventualmente un aumento en los hongos filamentosos (Blakeman, 1985). Sin embargo este patrón general parece ser alterado por efectos locales, como el grado e infestación de insectos, prácticas de cultivo y eventos climáticos (Fokkema y Schipper, 1986).

Algunas bacterias, levaduras y hongos filamentosos, forman poblaciones residentes sobre las hojas. La mayor parte de las bacterias son gram negativas, incluyendo géneros como: *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, y *Flavobacterium* y géneros de bacterias gram positivas como *Lactobacillus*, *Bacillus* y *Corynebacterium*. La mayoría de las levaduras presentes con mucha

frecuencia pertenecen a las familias *Cryptococcaceae* y *Sporobolomycetaceae* y los hongos filamentosos pertenecen a géneros muy diversos (Blakeman, 1981).

2.7 *Dinámica de las poblaciones de microorganismos en la filósfera*

La poblaciones de epifíticos y patógenos sobre las hojas, son dependientes de las condiciones microclimáticas en la superficie de la planta, tanto como del ambiente químico (Blakeman, 1973). La dinámica de la población microbial sobre las hojas, es una función de cuatro procesos de población: inmigración (arribo de propágulos viables sobre las hojas), emigración (pérdida física o remoción de propágulos viables), crecimiento (un incremento en biomasa o número de propágulos viables a través de la multiplicación) y muerte. La inmigración y emigración influyen la dinámica de la población, vía interacciones con el mundo fuera de la hoja (Kinkel, 1997); la emigración de las hojas ocurre como una función de los mecanismos activos de dispersión como el salpique de lluvia, lavado, goteo, movimiento del agua o remoción por insectos (Butterworth y McCartney, 1971), y la inmigración a las hojas ocurre por impacto de propágulos sobre la superficie de la hoja, sedimentación o dispersión por salpique a la superficie de la hoja. Ambas (emigración e inmigración), son fuertemente influenciadas por el ambiente físico, incluyendo velocidad del viento, lluvia (cantidad e intensidad) y radiación solar (Yang *et al.*, 1990; Lindermann & Upper, 1985; Lighthart y Shaffer, 1995). Es improbable que la inmigración de bacterias o hongos tienda a ser uniformemente distribuida a lo largo de la superficie de las hojas, principalmente por las estructuras de las hojas, particularmente la presencia de pequeñas proyecciones (vellosidades de las hojas o cistolitos) puede aumentar la eficiencia del impacto de partículas pequeñas. Además es probable que el agua mueva a los microorganismos por depresiones intercelulares o de las venas de las hojas (Bovallius *et al.*, 1978; McInnes *et al.*, 1988; Kinkel, 1997).

Lindemann *et al.*, (1984) y Lindow y Andersen (1996) demostraron que las poblaciones también dependen de la vegetación circundante a través de su influencia sobre las esporas inmigrantes, aún en plantas de la misma especie. Los orígenes de esta variabilidad son probablemente más influenciados por la diferencia a lo largo de las hojas en su habilidad para soportar el crecimiento de poblaciones en la Filósfera, a tal punto que las tasas de sobrevivencia (mortalidad) difieren sustancialmente en plantas de diferentes especies y hojas de diferente morfología (Haas y Rotem, 1976). Con ello el crecimiento diferencial y muerte de microorganismos probablemente es una función no solo de la emigración e inmigración, sino también de las hojas como hábitat (Kinkel *et*

al., 1996) La variabilidad en los tamaños de la población en la filósfera puede estar correlacionada con la posición de la hoja, especialmente a la altura y estructura del follaje (Jacques *et al.*, 1995; Oliveira *et al.*, 1991). Especies de plantas que tienen hábitos de crecimiento erecto, pueden exhibir mayor grado de variabilidad a lo largo de las hojas, que aquellas plantas que presentan crecimiento postrado. (Ercolani, 1991; Jacques *et al.*, 1995).

Haas y Rotem (1976); Mechaber *et al.* (1996); Mercure *et al.* (1994); Mmbaga *et al.* (1994) Han observado diferencias sustanciales entre las estructuras de las hojas viejas y jóvenes, dado que las hojas más viejas presentan mayor rugosidad que las jóvenes. Un incremento en esta rugosidad sobre la superficie, puede alterar la eficiencia de la inmigración o emigración por una variedad de mecanismos. Así mismo las hojas más viejas tienden a estar más dañadas, resultando una alta concentración de nutrientes sobre su superficie, lo que puede contribuir a aumentar el crecimiento microbial. Así, estas hojas pueden simplemente acumular mayor densidad de micoflora (Beattie y Lindow, 1995; Tukey, 1970; Jacques *et al.*, 1995).

2.7.1 Factores ambientales que afectan a los microorganismos en la filósfera

El crecimiento de bacterias, hongos filamentosos y levaduras sobre la superficie de las hojas es generalmente alto cuando las temperaturas son moderadas y los niveles de humedad son altos (Beattie y Lindow, 1995; Breeze & Dix, 1981; Leben, 1988; Timmer *et al.*, 1987). La distribución e intensidad de las precipitaciones, puede ser crítica para el establecimiento de una población. Por ejemplo, el crecimiento de bacterias como *Pseudomonas syringae* sobre las hojas, fue favorecido siguiendo intensas lluvias, pero no por cantidades equivalentes de lluvias ligeras (Hirano *et al.*, 1994).

La muerte de microorganismos sobre la superficie de las plantas es muy marcada bajo condiciones de alta radiación ultravioleta, altas temperaturas, baja humedad relativa, y baja disponibilidad de humedad libre (Beattie y Lindow, 1995). Sin embargo, la presencia de sitios protegidos sobre la superficie de las hojas y los mecanismos de supervivencia de muchos microorganismos epifíticos, les permite su sobrevivencia. Adicionalmente las hojas más bajas en el follaje de las plantas, experimentan temperaturas moderadas y alta humedad relativa, que son sustancialmente condiciones óptimas para el desarrollo microbial (Kinkel, 1997; Doherty y Perece, 1978; Gupta *et al.*, 1995; Kinkel *et al.*, 1995).

2.8 *Nematodos fitoparásitos*

Aquellos nematodos que se alimentan en o cerca de las superficies de la planta se conocen como ectoparásitos y aquellos que incrustan su cuerpo dentro de los tejidos de la planta y se alimentan dentro, son endoparásitos. Además se dividen en migratorios o sedentarios, dependiendo de si mantienen su movilidad durante el parasitismo. Aquellos que retienen la habilidad de moverse de un lugar a otro durante de su ciclo de vida como endoparásito o ectoparásito, son clasificados como migratorios, aunque estos permanezcan en solo lugar por varios días. Son denominados sedentarios aquellos que por características propias permanezcan en un solo sitio de alimentación durante su ciclo de vida (Jenkins y Taylor, 1967).

Se ha estimado que en el suelo existe una población de nematodos superior a los 20.000.000 por metro cuadrado. Sin embargo es casi imposible brindar un estimado exacto de la población total en el suelo (Sasser y Jenkins, 1960). Overgaard (1949) considera que existen grandes diferencias en el número total de nematodos de acuerdo con la calidad y cantidad de los factores edáficos. Se han estimado 0.5 millones de nematodos en turba a 10 o 11 millones por metro cuadrado en arena y arcilla, debido quizás a la reducción de la aireación y actividad microbiana producto del anegamiento de la turba.

Muchos otros organismos comparten el ambiente del suelo con los nematodos, bacterias, protozoos y algas están presentes especialmente en el estrato superior y abundantes raíces que se abren paso entre las partículas del suelo para absorber agua y minerales (Dropkin, 1980).

Entre los factores ambientales que afectan a los nematodos, se pueden distinguir los factores físicos tales como la temperatura, humedad, vientos, corrientes de aguas, profundidad del agua, estructura del suelo, drenaje, aireación, entre otros. Factores asociados con la composición química del medio, como pH, salinidad y contenidos minerales y en el caso de suelos, fertilizantes y químicos aplicados para protección de las plantas. Entre los factores biológicos se pueden considerar las interacciones entre nematodos y otros organismos, los cuales pueden servir como fuente de alimento, medio de transporte, competidores o enemigos (Sasser y Jenkins, 1960).

Los nematodos fitopatógenos de las raíces, interfiere con la absorción del agua, nutrientes, traslocación y el soporte físico de las plantas. Por lo tanto intervienen en el balance nutricional de las plantas, lo que puede resultar en varios síntomas de deficiencias de acuerdo a las características

químicas y físicas del suelo, disponibilidad de nutrientes, la parte de la planta involucrada, la especie del hospedante y el nematodo mismo (Jenkins y Taylor, 1967)

Los nematodos producen en las plantas atacadas hipertrofia e hiperplasia o heridas en el sistema radicular, pueden también afectar la planta cuando son vectores de virus, así como a través de relaciones patogénicas complejas con hongos, bacterias y otros nematodos (Jenkins y Taylor, 1967). Mountain (1960), sugirió que en sus relaciones con las plantas, los nematodos pueden actuar como iniciantes y agravadores. Como un iniciante los nematodos no pueden por si mismos causar la enfermedad, pero podrían atacar tejido sano de las plantas y proveer cortes de infección para otros microorganismos. En el rol de agravadores, los nematodos no pueden por si mismos penetrar al tejido del hospedante, pero si pueden entrar por lesiones o heridas causadas por otros agentes y una vez dentro de los tejidos del hospedante los productos metabólicos del agravador pueden causar lesiones en la planta, predisponiendo los tejidos de la planta al ataque de otros organismos o proveer un medio en el cual microorganismos peligrosos puedan crecer.

Los complejos de enfermedades donde se involucran nematodos con otros microorganismos, pueden elevar la importancia del daño. Esto podría indicar que muchos de los daños, tal como la pudrición o decaimiento de las raíces, hasta ahora atribuido solo a nematodos, es en realidad el daño resultante de una interacción entre el nematodo y otro, aparentemente inocuo habitante del suelo (Zuckerman *et al.*, 1971). Así los nematodos inician el proceso patológico y son las bacterias, hongos y otros, los que lo continúan y de esta forma varios tipos de microorganismos se combinan para inducir el daño (Dropkin, 1980)

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Generalidades y ubicación del experimento

La investigación se desarrolló en dos fases, una de campo y otra de laboratorio. La fase de campo se desarrolló en las fincas Cristina y Los Meza ubicadas en Birrisito cantón de Paraiso, provincia de Cartago, con manejo orgánico y convencional respectivamente. Ubicadas a los 09° 50' de Latitud Norte y 83° 51' de Longitud Oeste, a 1,300 msnm, con una temperatura media estimada de 17.1 °C y precipitación pluvial promedio de 1,780mm anuales. Sus suelos son de origen volcánico, agrupados dentro de la unidad geomorfológica volcán Irazú, pertenecen al orden de los Andisoles, con buenas características físicas, moderadamente fértiles y con alta capacidad para la fijación de fósforo, debido a los considerables contenidos de alófana, lo que a su vez constituye su principal limitante (Bertsch, 1995). La topografía se caracteriza por pequeñas elevaciones compuestas de cenizas volcánicas recientes, con diferentes grados de meteorización (Chinchilla, 1987).

En ambos sistemas se evaluó la incidencia de enfermedades del cultivo, se registraron las variables microclimáticas imperantes en cada una de las fincas y se tomaron muestras de material vegetal y suelo para el estudio de los microorganismos objetivos.

El manejo de los sistemas durante el desarrollo de esta investigación, estuvo a cargo del productor de cada finca. Sin embargo como el productor tradicional redujo labores de cultivo, principalmente en el manejo de enfermedades, se procedió a realizar una aplicación de fertilizante y funguicida y en la orgánica una aplicación al suelo de carbonato de calcio.

La fase de laboratorio se llevó paralela a la de campo y fue desarrollada en su totalidad en los Laboratorios de Fitopatología del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica.

3.2 Características de las fincas

3.2.1 Finca de producción orgánica

La plantación seleccionada consta de plantas de la variedad caturra de 27 años de edad, con un promedio de tres ejes ortotrópicos por planta, para una densidad aproximada de 6.500 plantas por

ha y sombra de poró (*Erythrina poeppigiana*), establecida a 4x4 m (625 árboles/ha), regulada de forma tal que se logra mantener porcentajes de sombra entre 30-65% por medio de podas parciales con intervalos de dos meses

Esta finca ha sido manejada estrictamente como orgánica por 10 años, sin aplicación de agroquímicos convencionales como: fungicidas, herbicidas y fertilizantes inorgánicos a excepción de la aplicación de carbonato de calcio y elementos limitantes como boro, zinc y potasio que son permitidos dentro del manejo orgánico. El manejo de malezas, enfermedades y regulación de microclima se realizan por medio de labores culturales como la chapia y manejo de sombra manual (cuadro 1)

Cuadro 1. Manejo agronómico del café en la finca orgánica

Actividad	Método	Momento	Observaciones
Control de malezas	Manual	Abril, Junio-Julio, 2002	Las malezas predominantes fueron: <i>Impatiens spp</i> , <i>Commelina sp</i> , <i>Pseudoelephantopus sp</i> y <i>Euphorbia sp</i>
Fertilización		No se realizó	
Encalado	Manual	Julio, 2002	Dosis de 200 g/m ² para un total de 44 QQ/ ha
Manejo de sombra	Manual	Mayo-Junio, Julio, 2002	La regulación de la sombra es un proceso que se desarrolla en un lapso de aproximadamente 2 semanas.
Replante	Manual	Marzo-Mayo, 2002	

3.2.2 Finca de producción convencional

Esta plantación tiene 27 años de edad, consta de plantas de la variedad caturra, con densidad de 6 500 plts/ha y posee una plantación establecida de poró (*Erythrina poeppigiana*), con distancia de siembra 4x4 m (625 árboles/ha), como sombra, la cual es continuamente podada, manteniendo el cafetal continuamente expuesto a la radiación solar. Presenta una pequeña plantación de banano de distribución desuniforme que provee un porcentaje de sombra que oscila entre los 0-20% en los sitios donde se encuentran las matas. El manejo de los problemas fitosanitarios y la nutrición tradicionalmente se ha hecho de forma convencional, de acuerdo a los insumos disponibles en el

mercado como: fertilizantes completo, herbicidas como el paraquat (Gramoxone) y oxyfluorfen (Goal) y aplicaciones de oxiclورو de cobre y Hexaconazol (Anvil), para el manejo de roya y ojo de gallo. No obstante los tres últimos ciclos por la reducción de los precios del café, este manejo ha cambiado hacia un sentido más cultural y menos químico (cuadro 2).

Cuadro 2. Manejo agronómico del café en la finca convencional.

Actividad	Método	Momento	Observaciones
Control de malezas	Químico	Noviembre, 2001; Julio, 2002.	Paraquat 1 litro + oxyfluorfen (1 lata de atún, aproximadamente 125 grs) en 55 galones de agua.
	Manual	Enero a Mayo, 2002.	Manejo de rebrote con machete, aprovechando otras labores como las podas
Fertilización	Química	25 de Mayo	Fórmula completa N-P-K (12-24-12) a razón de 2 quintales/mz
Manejo de sombra			No se mantuvo sombra
Manejo de enfermedades	Químico	25 de Mayo	funguicida triazol, hezaconazol en dosis de 200 ml/ha. Indicado para el manejo de <i>H. vastatrix</i> y <i>M. citricolor</i> .
Poda de cafetos	Manual	Mayo-Junio, 2002	Se trata de mantener un promedio de tres ramas ortotrópicas.

3.3 Diseño de muestreo

Como parcela de muestreo se tomó un área de dos hectáreas por finca, dentro de este espacio se seleccionaron aleatoriamente 10 áreas de muestreo de 60 plantas y dentro de ellas se seleccionó un sitio considerado representativo y que cumpliera con las exigencias del muestreo, basados en las siguientes características de plantas:

- Estar ubicadas bajo condiciones promedios dentro del cafetal.
- Ser representativas de la zona de muestreo (clima, manejo y topografía)
- Poseer un mínimo de 12 hojas por bandola.
- Bandolas con crecimiento activo y ausencia de daños mecánicos visibles.

Una vez seleccionados estos sitios, se escogieron dentro de ellos diez plantas, las que fueron ubicadas de forma continua en dos surcos con cinco plantas por surco, estos dos grupos de plantas se marcaron definiendo el estrato inferior y superior (anexos 1).

Los sitios de muestreo se marcaron con bandas blancas ubicadas al pié y en la parte superior de la primera planta de cada grupo y cada planta dentro del sitio de muestreo se marcó con cintas de colores que identificaban el estrato, la bandola de evaluación y el área de recolección de hojas

El muestreo se llevó a cabo cada dos semanas y se tomó una hoja sana por planta de cada uno de los estratos. Al final de cada muestreo, se obtuvieron 10 hojas por sitio, separadas en dos grupos de 5 hojas, que representaron el estrato respectivo, y que fueron utilizadas para los análisis de laboratorio.

3.4 Incidencia de enfermedades foliares

El desarrollo de cada enfermedad se evaluó como incidencia en una rama ortotrópica por cada una de las 10 plantas del sitio. La evaluación se realizó cada dos semanas durante marzo a julio del 2002. Los datos se tabularon como porcentajes de hojas enfermas del total de hojas por bandola.

Para el cálculo se utilizó la fórmula: $I = na/Nt*100$, donde:

I = Incidencia en porcentajes

na = Número de hojas enfermas

Nt = Número de hojas totales

3.4.1 Variables evaluadas

- Número de hojas por bandolas.
- Incidencia de las enfermedades foliares por sistema (*Hemileia vastatrix*, *Cercospora coffeicola*, *Mycena citricolor*, *Colletotrichum spp* y *Phoma costarricensis*)

No se evaluó severidad, puesto que los resultados obtenidos por Mendoza *et al*, (1995) y Samayoa (1999) demostraron que existe alta correlación entre las variables incidencia y severidad, por lo tanto, se escogió la variable de más fácil manejo.

3.5 Evaluación de la población de nematodos

Se realizaron muestreos de suelo y raíces para evaluar las poblaciones de nematodos de los sistemas estudiados. Las muestras se tomaron de la zona de goteo de las plantas de café a una profundidad de 15 cm y estuvieron constituidas por cinco submuestras (anexo 2), luego estas submuestras fueron mezcladas, etiquetadas y llevadas a los laboratorios de fitopatología de CATIE, para su posterior procesamiento.

Los sitios de muestreo fueron seleccionados aleatoriamente, dentro de los diez sitios elegidos para la evaluación de enfermedades. El número de muestreos totales fueron cinco, realizados en diferentes fechas durante la fase de campo (10 de marzo, 11 de mayo, 25 de mayo, 18 de junio, 30 de julio). Sin embargo, la cantidad de muestreos no obedeció a ningún patrón de tiempo, sino que respondió a eventos climáticos como un periodo prolongado de lluvia en el mes de mayo y la aplicación de productos químicos como fertilizante y funguicida en la finca convencional, así como a la aplicación de una enmienda con carbonato de calcio en la finca orgánica.

3.5.1 Procesamiento de muestras y extracción de nematodos

1. Cada muestra compuesta de suelo, se homogenizó muy bien y se tamizó teniendo el cuidado de romper los terrones, eliminar piedras y residuos indeseables. Se tomaron 100 gramos de suelo y se vertieron y esparcieron dentro de un tamiz que contenía una hoja de papel toalla, el cual fue colocado sobre un plato de fondo plano al que se adicionó agua, hasta lograr que el nivel de la misma cubriera la superficie del suelo.
2. Se dejó reposar por espacio de 48 horas para que los nematodos lograran cruzar el papel filtro y se precipitaran al fondo del plato.
3. La suspensión de nematodos obtenida, se homogenizó y se procedió al conteo con la ayuda de un microscopio.
4. La identificación de los especímenes se realizó con la ayuda de claves pictóricas y en general estuvo limitada hasta la determinación de géneros.

La extracción de los nematodos de la raíz, se basó el método de macerado descrito por Hooper, (1970) e incluye los siguientes pasos

- 1 Las muestras de raíz se homogenizaron y lavaron con agua hasta lograr el desprendimiento de los agregados de suelo y otras partículas, además de eliminar todo aquel material radical que no correspondiera al café o que representara tejido muerto. El material limpio se secó al aire libre, hasta lograr la eliminación de los excesos de humedad.
- 2 Se fragmentaron las raíces en proporciones aproximadas de 2.5 cm de largo y se obtuvo una muestra de 10 grs de raíces, que posteriormente se licuó a la máxima velocidad por espacio de 15-20 segundos.
- 3 El tejido macerado, se vertió en un juego de tamices de 15 cm de diámetro y diferentes abertura de malla, ubicados en orden de: 1.0 mm (nº 18), 0.15 mm (nº 100), 0.043 mm (nº 325) y se adicionó agua suficiente para que los especímenes pudieran pasar de un tamiz a otro y lograr su retención en el tamiz inferior.
- 4 Se obtuvo una suspensión de nematodos, la cual se completó a 300 ml, se sometió a agitación y se extrajeron 2.0 ml de la suspensión para el conteo de los especímenes.
- 5 El conteo se llevó a cabo con la ayuda de un microscopio a un aumento de 10-20x y la identificación de los especímenes estuvo limitada hasta la determinación de géneros y se realizó con la ayuda de las claves pictóricas según: Morgan; *et al* (1992); Mulvey y Golden (1983); Ebsary (1981); Timm (1969), Dasgupta *et al* (1969); Mulvey (1961); Raski y Coomans (1991); Sher (1966); Dasgupta y Nand (1970); Buangsovan y Jensen (1966); Khan y Jairajpuri (1979); Baqri y Jairajpuri (1973); Loof (1993); Esse (1992); Coomans y Raski (1991); Siddiqi (1965); Raski y Golden (1965); Sher (1965); Droplkin (1980); Jenkins y Taylor (1967); Sasser y Jenkins (1960).

3.5.2 Variables evaluadas

- Densidad poblacional de nematodos fitoparásitos en el tiempo
- Densidad poblacional de nematodos no fitoparásitos en el tiempo.

3.6 Evaluación de poblaciones de microorganismos no parasíticos sobre el filoplano del café

Las hojas obtenidas de cada muestreo en el campo (cinco hojas de cada sitio por cada estrato), fueron selladas a nivel del pedúnculo con parafina derretida, para evitar que la presencia de microorganismos endofíticos alteren los resultados de la flora microbiana existente sobre la superficie de las hojas, se colocaron en 500 ml de agua destilada y se lavaron en agitación continua durante 20 minutos, para lograr el desprendimiento de los propágulos en su superficie. Se trató de evitar roces entre las superficies de las hojas que pudieran ocasionarles heridas y la consecuente liberación de microorganismos endofíticos.

3.6.1 Aislamiento de microorganismos

Hongos: De la suspensión obtenida mediante el lavado, se tomó 1 ml con una micropipeta y se sembró directamente sobre la superficie del substrato artificial PDA (Papa-Dextrosa-Agar) + ácido láctico, para evitar el crecimiento de colonias de bacterias y se dejó incubar a 22°C durante un periodo de 72 horas, después del cual se realizó el conteo de las colonias y los aislamientos y reaislamientos necesarios, hasta lograr los cultivos puros para la identificación de los géneros, labor que se logró con la ayuda del microscópio y claves pictóricas disponibles en Ellis (1971); Ellis (1976); Hanlin (1990); Barnet (1960)

Bacterias: Se tomaron 50 µl de la suspensión de microorganismos obtenida del lavado de las hojas, se vertieron dentro de un tubo de ensayo conteniendo 10 ml de agua estéril, luego el contenido del tubo se agitó y se extrajeron 50 µl de la nueva suspensión para ser sembrados sobre la superficie del medio artificial Agar Nutriente (anexo 3). Se contaron las colonias y se inició el proceso de reaislamiento, hasta obtener cultivos puros para la identificación de los géneros presentes.

La identificación se realizó a través de las siguientes pruebas de laboratorio (anexo 4): Hipersensibilidad inoculando las bacterias sobre tejido vivo de plantas de tomate en invernadero, Tinción de Gram, KOH, catalasa, pudrición en papa, siembra en YDC y en medios específicos como Kin B o *Pseudomonas*-Agar-Base, *Pseudomonas fluorescens* medium, tratamientos térmicos para el caso de *Bacillus* y tinción de estructuras con azul de metileno y safranina. Según metodologías propuestas por Goodman y Novacky (1994); Carpenter (1967); Tuite (s.f.); Agrios (1988); Gibbs y Shapton (1968); Schaad (1980); Lelliott y Stead (1987); Schaad (1988)

Para fines prácticos de este estudio, los géneros de bacterias fueron agrupados obedeciendo al color de las colonias, entonces los géneros *Pseudomonas* (incluye *Pseudomonas fluorescens*), *Bacillus*, *Erwinia*, y levaduras, se agruparon en el grupo de colonias blancas, *Xanthomonas* y *Pseudomonas fluorescens* en el grupo de amarillas y coryneformes en el grupo de las café

3.7 Factores meteorológicos

Se registraron los factores meteorológicos temperatura, humedad relativa, pluviosidad, además de sombreado, pH y estructura química del suelo durante todo el tiempo del desarrollo de la fase de campo

Para lograr obtener los registros de las variables temperatura y humedad, se ubicó dentro de cada sistema de cultivo, una caseta meteorológica ubicadas a 1.5 m del nivel del suelo (Jaramillo-Robledo, 1976; Durán, 1985; Moreno, 1985), ubicadas en medio de cuatro árboles de café (incluyendo en uno de sus lados un sitio de muestreo) y situadas en el lugar más cercano al centro de la parcela. En cada caseta se colocó un Termohigrógrafo de tambor previamente calibrado que registra máximos y mínimos de ambas variables y cuya hoja está adaptada para el registro continuo de una semana

En ambos sistemas se levantaron datos de temperatura ambiente, humedad relativa (máximas, medias y mínimas) y temperatura del suelo entre plantas y entre hileras de café con higrómetros manuales de máximas y mínimas, situados aproximadamente a una altura de 1 m (estrato inferior) y termómetros colocados en el suelo a 10 cm de profundidad. Las lecturas fueron tomadas por espacio de dos horas en dos sitios dentro de las parcelas con intervalos de 14 días y se identificaron como puntuales (valor alcanzado por el factor medido justo al momento de la lectura, y que difiere de los valores máximos y mínimos por ser estos el resultado más alto y más bajo registrados durante un periodo de tiempo), entre planta (lectura tomada dentro del follaje de una planta) y entre hileras (lectura tomada en medio de dos hileras o surcos).

La precipitación se midió diariamente, con la ayuda de pluviómetros de 280 ml de capacidad ubicados fuera del plantío

El nivel de sombra se estimó en porcentaje de acuerdo a la relación cantidad de espacios libres (penetración libre de luz) dentro del dosel de los árboles de sombra, para ello se utilizó un

densiómetro esférico, modelo A con reja graduada sobre la superficie de un espejo convexo, y fue medida bimensualmente

La fórmula aplicada para el cálculo de sombra fue: $S = 100 - (NEL * 1.4)$; donde:

S = Es el nivel de sombra real.

NEL = Número de espacios libres o aberturas dentro del dosel.

1.4 = constante de cálculo.

3.8 Diseño del experimento

El diseño experimental fue irrestricto al azar en parcelas divididas en el tiempo con efecto confundido en la parcela grande, dado el hecho que no se contó con un testigo absoluto, ni la construcción de las interacciones posibles entre los sistemas. Las sub parcelas se definieron en franjas (estratos) debido a que no presentaron un proceso de aleatorización.

El modelo estadístico que describe la información obtenida es:

$$\hat{Y} = \mu + S_i + \epsilon_{i(j)} + E_k + \epsilon_{j(k)} + SE_{ik} + \epsilon_{ijk} + T_l + TS_{il} + TE_{ij} + SET_{ilk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde: S = Sistema, E = Estrato y T = Tiempo

μ = Media Poblacional

$\epsilon_{i(j)}$ = Error de la parcela grande

$\epsilon_{j(k)}$ = Error de las subparcelas

ϵ_{ijk} = Error de la interacción sistema-estrato

ϵ_{ijkl} = Error experimental

3.8.1 Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza de los promedios de los muestreos, para determinar diferencias entre los sistemas de manejo.

Para el análisis de las interacciones entre los factores de manejo y las variables microclima, poblaciones de microorganismos e incidencia de enfermedades, se construyeron ecuaciones de correlaciones y regresiones multivariadas.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Factores microclimáticos

4.1.1 Temperatura, humedad relativa y precipitación dentro de los cafetales.

Las diferencias de humedad relativa y temperatura entre el área circundante a los cafetos de los sistemas convencional y orgánico, fueron en promedio muy pequeñas, a pesar de la fluctuación de los valores por fecha de registro en la temperatura. En el café convencional, presentaron fluctuaciones entre los 26.1 °C a 28.3 °C en la temperatura máxima con promedio de 27.1 °C y variaciones entre 25.8 °C a 28.4 °C con promedio de 27.0 °C registradas en el cafetal orgánico, lo que representa una diferencia promedio de 0.1 °C y diferencias aproximadas de 0.6 °C a 1.1 °C entre los sistemas en las diferentes fechas de registro. La temperatura promedio (media) del cafetal convencional superó en 0.4 °C a la presentada por el orgánico y un promedio de 0.4 °C menos que la temperatura mínima que se registró en el cafetal orgánico. Esta poca variabilidad entre los sistemas puede explicarse por el efecto de la nubosidad de la zona, la cual, según Jaramillo y Gómez (1989) baja bruscamente los valores de temperaturas de hojas expuestas a valores similares a los de hojas autosombreadas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Promedios de temperatura y humedad relativa, máxima, mínima y media, registrados cada 14 días durante los meses de mayo a julio del 2002, en las fincas convencional y orgánica. Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002

Fecha	TEMPERATURA (°C)						HUMEDAD (%)					
	Orgánico			Convencional			Orgánico			Convencional		
	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media
21 May	27.7	15.2	19.3	28.3	14.3	19.7	100	55.0	94.0	100	60.0	92.0
04 Jun	27.3	15.4	19.8	26.8	16.0	20.0	100	54.5	90.8	100	61.0	89.1
18 Jun	28.4	14.1	19.1	26.1	13.6	19.5	100	53.0	93.2	100	58.0	91.3
02 Jul	26.8	15.8	19.3	27.4	15.5	19.8	100	59.5	95.6	100	64.5	94.1
16 Jul	25.8	15.3	19.3	26.9	15.0	19.6	100	66.0	95.6	100	67.5	94.0
30 Jul	25.9	14.8	18.4	27.0	13.5	19.1	100	61.0	95.9	100	61.0	93.1
Media	27.0	15.1	19.2	27.1	14.7	19.6	100	58.2	94.2	100	62.0	92.3

La humedad relativa (HR) entre los cafetos (Cuadro 3), sigue el mismo comportamiento de la temperatura. Sin embargo, a pesar de las pocas diferencias entre los promedios; (3.8% más de HR mínima en la finca convencional y 1.9% más de HR media en la finca orgánica), es importante señalar que en ambos casos, la HR media en las fincas, se mantuvo por encima del 90%, que junto a la HR máxima pudieron haber mantenido una película importante de agua en el filoplano de los cafetos, lo que representa un importante elemento en la colonización de microorganismos sobre el filoplano, como lo explica Kinkel (1997). Los dos sistemas no mostraron grandes diferencias con respecto a estas variables, siguiendo ambos cafetales un patrón climático similar (Figuras 1 y 2)

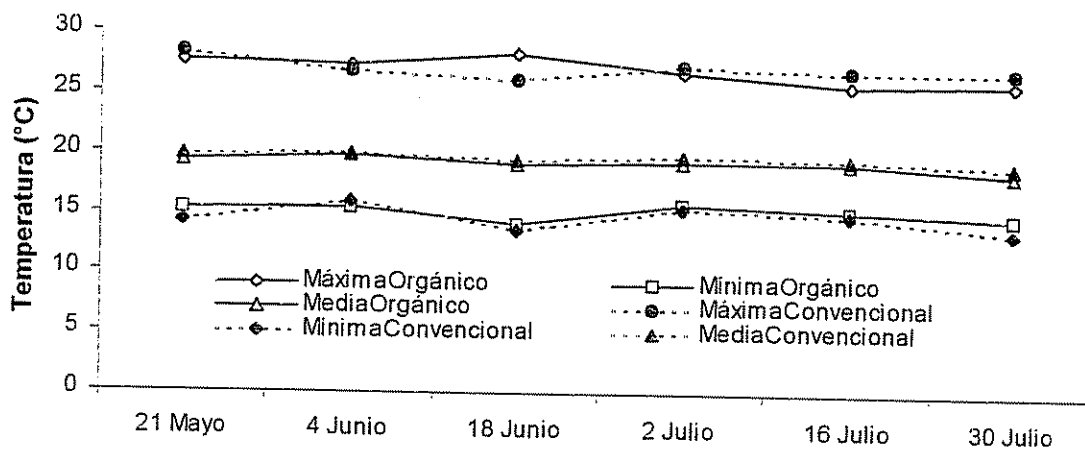


Figura 1 Promedios de temperatura máxima, mínima y media, registrados cada 14 días en un cafetal bajo manejo orgánico y otro convencional. Paraiso, Cartago, Costa Rica

Las temperaturas medias a lo largo del periodo de estudio (19°C a 20°C), pueden favorecer tanto la germinación como la penetración del patógeno y el desarrollo de enfermedades del follaje como la roya y el ojo de gallo, cuyas exigencias en cuanto a temperatura se presentan entre 21 °C a 25 °C (Guharay *et al*, 2000; Rayner, 1961) y 18 °C a 24 °C (Wang y Avelino, 1999) respectivamente. Los rangos de humedades en ambos sistemas, también se consideran apropiados para el desarrollo de las enfermedades del café, al mantener mínimas por encima del 50% de humedad y medias en porcentajes superiores a 90 (Wang y Avelino, 1999) (figuras 1 y 2)

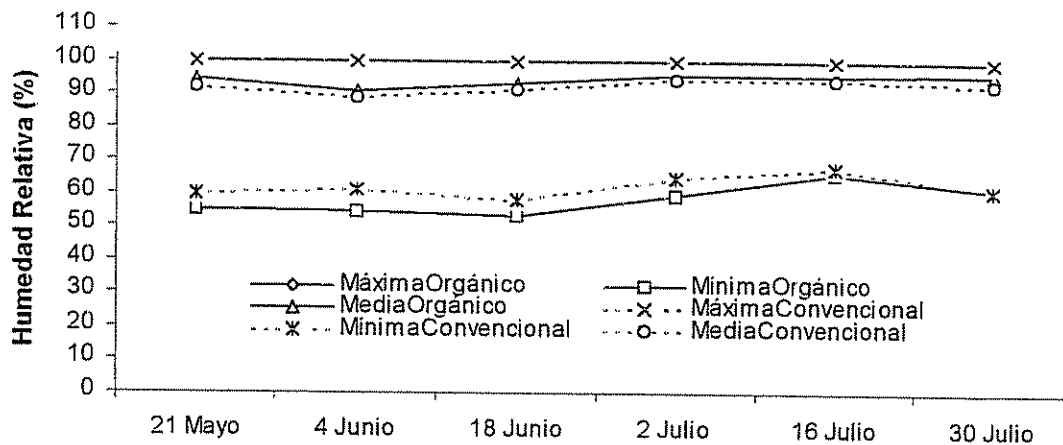


Figura 2. Promedios de humedad relativa máxima, mínima y media, por periodo de 14 días en un cafetal bajo manejo orgánico y otro convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica.

En las figuras 1 y 2 también se puede observar que el rango de humedad relativa media, presenta cierto grado de respuesta a la variación de la temperatura media contrario a la relación de las curvas de humedad y fluctuaciones de temperatura altas y mínimas

Los porcentajes ligeramente más altos de HR y las temperaturas medias menores en el sistema orgánico, pueden explicarse por la presencia de la sombra, la cual se mantuvo durante el estudio en niveles de 40-90%, si se compara con el café convencional, en el cual los niveles de sombra fueron menores a 5%. Esto demuestra que en los meses más cálidos y secos, donde las humedades relativas bajan al mínimo, los cafetales bajo sombrero pueden gozar de un ambiente más fresco. Sin embargo este efecto puede ser más notorio en ambientes donde la estación seca es bien definida y no en ambientes donde el periodo de lluvia es más prolongado y se presenta alta nubosidad como lo explica Estivariz (1997)

4.1.2 Precipitación

La precipitación durante los meses de febrero a abril se mantuvo por debajo de los 50 mm (acumulados por periodo de 14 días). Las cantidades menores de precipitación se observaron durante el mes de abril, 6.0 mm a 24.4 mm de lluvia acumulada en el periodo. Las precipitaciones más altas se registraron en los meses de mayo y junio, con los picos más altos de lluvia durante las primeras dos semanas de cada uno de estos meses (figura 3). La distribución de las lluvias durante

los días del mes, fue mejor en los meses de marzo, mayo y julio que en los meses de abril y junio ya que estos mostraron periodos de poca precipitación a mediados del periodo (anexo 5).

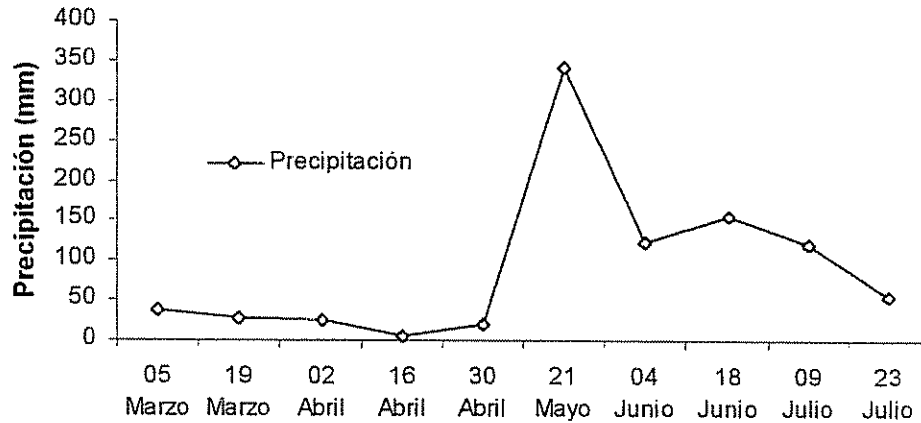


Figura 3 Promedios de precipitación registrada cada 14 días, durante el periodo de febrero a julio del 2002 Paraiso, Cartago, Costa Rica.

4.1.3 Temperatura y humedad relativa entre plantas e hileras y temperatura del suelo en las fincas bajo manejo orgánico y convencional

La relación entre promedios de temperatura en la filosfera y entre hileras de los cafetos en ambos sistemas, mostró que los mayores valores se localizaron entre las hileras. En el sistema convencional se pudieron registrar diferencias en promedio de temperatura puntual, máxima y mínima entre las plantas e hileras de 1.4 °C, 1.6 °C y 0.7 °C respectivamente, más altas entre hileras que en la filosfera, así como diferencias de temperatura promedio puntual y máxima de 0.6 °C y 1.1 °C más altas entre hileras que entre plantas en el sistema orgánico. De igual manera se puede observar que las temperaturas registradas en el suelo entre las hileras, alcanzaron diferencias de hasta 2.0 °C por encima de la temperatura del suelo tomada en medio de la zona de goteo de las plantas de café en el sistema convencional. Un comportamiento similar se observó en el sistema orgánico, en el cual la temperatura del suelo entre las hileras, fue superior 0.3 °C en comparación a la temperatura de la zona de goteo de los cafetos (cuadro 4)

Cuadro 4 Promedios totales de temperatura (°C) y humedad relativa (HR) en la filósfera, hilera y suelo de los cafetos bajo manejo orgánico y convencional Paraíso, Cartago, Costa rica, 2002.

Humedad Relativa (%)						
Cafetos	Convencional			Orgánico		
	Puntual	Máxima	Mínima	Puntual	Máxima	Mínima
Planta	52.6	59.4	42.9	56.2	65.1	50.9
Hileras	48.8	56.0	38.3	57.0	65.5	49.3
Diferencias	3.8	3.4	4.6	*0.8	*0.4	1.6
Temperatura (°C).						
Cafetos	Convencional			Orgánico		
	Puntual	Máxima	Mínima	Puntual	Máxima	Mínima
Hileras	29.8	33.3	27.7	27.8	29.8	25.2
Planta	28.4	31.7	27.0	27.2	28.7	25.7
Diferencias	1.4	1.6	0.7	0.6	1.1	*0.5
Temperatura (°C).						
Suelo	Convencional			Orgánico		
	Puntual			Puntual		
Hileras	20.7			18.2		
Planta	18.7			17.9		
Diferencias	2.0			0.3		

* Resultados que muestran un patrón diferente a lo esperado

Puntual: Temperatura registrada por el equipo en el momento de la toma de datos

Planta: Temperatura tomada dentro del follaje de la planta

Hilera: Temperatura tomada entre dos hileras de plantas

Las figuras 4, 5 y 6 Muestran que los patrones en las curvas de temperatura dentro de los sistemas, son similares. No obstante se pueden observar diferencias en el patrón de temperatura obtenida entre las hileras y dentro de los cafetos del sistema orgánico. Mientras que en el sistema convencional este factor, presenta un patrón similar dentro de la planta y entre hileras, que difiere solamente por las variaciones registradas en los tres tipos de temperaturas. Las curvas de temperatura del suelo de los sistemas, mostraron un patrón similar. Los valores más altos de temperatura en el suelo, se presentaron en el cafetal convencional tanto en la zona dentro las plantas como entre las hileras. La fluctuación en la curva de temperatura del suelo del sistema orgánico fue muy leve, observándose un comportamiento similar en la temperatura entre hileras y en la zona de goteo. Sin embargo la temperatura entre las plantas, resultó ser menor. En el sistema convencional se pueden observar diferencias de hasta 3.8 °C entre dos sitios, presentándose una temperatura del suelo más altas entre las hileras del cultivo que entre la zona de goteo de las plantas. Este comportamiento se puede explicar por el sombreado que provee la planta a la zona de goteo y es más importante en cafetales con presencia de sombra.

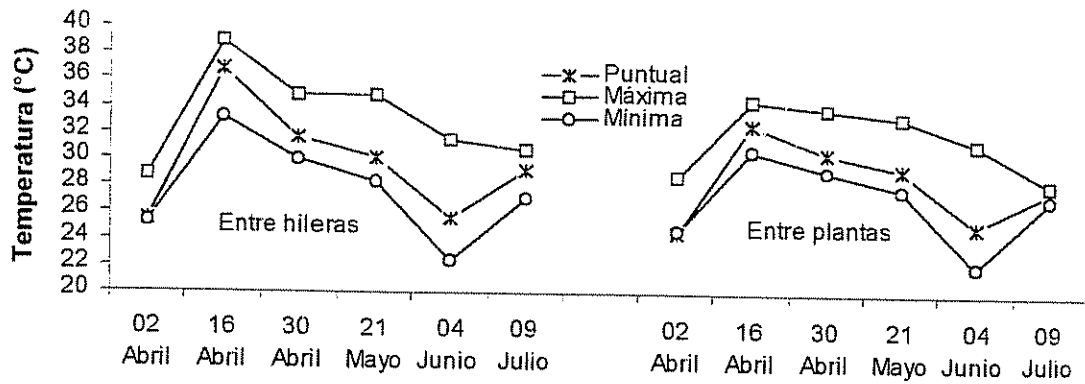


Figura 4. Temperatura puntual, máximas y mínimas tomadas entre hileras y dentro de los cafetos del sistemas convencional, Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.

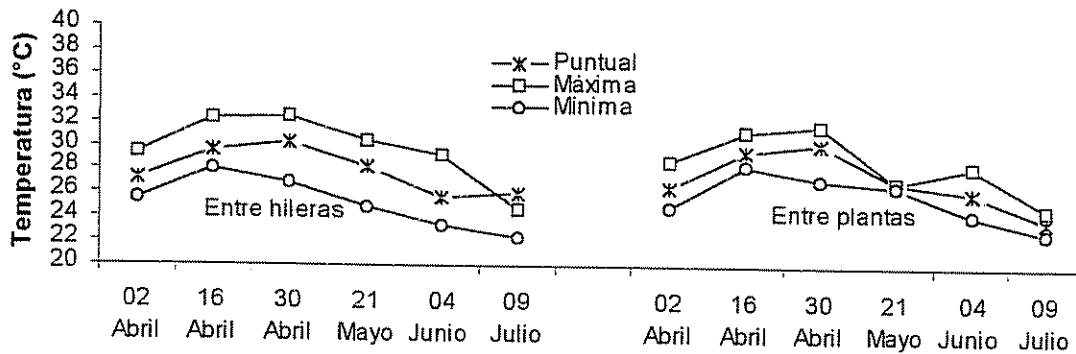


Figura 5 Temperatura puntual, máxima y mínima tomadas entre hileras y dentro de los cafetos del sistema orgánico, Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002

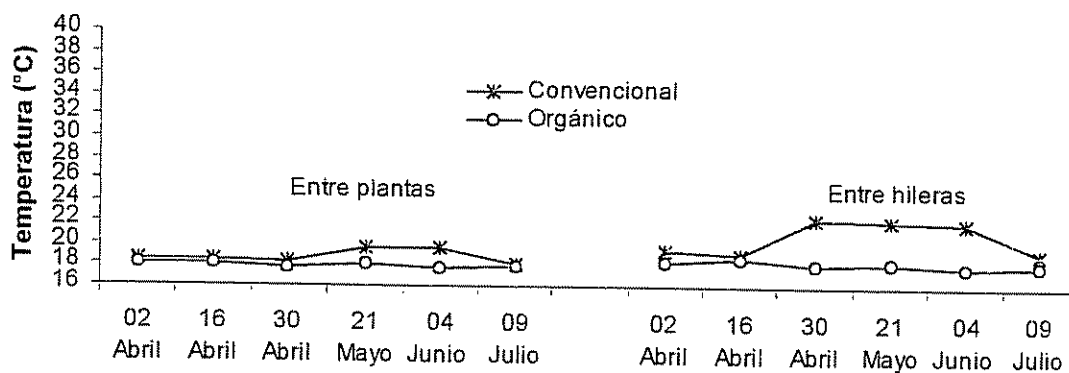


Figura 6 Temperatura del suelo, tomada entre hileras y dentro de los cafetos en los sistemas convencional y orgánico, Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002

Los mayores niveles de humedad relativa puntual, máxima y mínima registrados en el café convencional fueron de 3.8%, 3.4% y 4.6% superiores dentro de la planta que entre hileras de plantas y de 0.8% a 0.4% más alta entre hileras de cafetos que dentro de las plantas del sistema orgánico. Esto demuestra que el sistema orgánico es más estable con respecto a los cambios en la humedad relativa. Sin embargo, es importante resaltar que Jiménez (1995), considera que los niveles de sombra encontrados (40% a 90%) juegan un papel importante sobre el microclima en este tipo de cafetal, además que las densidades de siembra excesivas o la ausencia de las labores agrícolas, en el manejo de la sombra y malas hierbas, tienden a favorecer un microambiente de alta humedad relativa, principalmente porque disminuye la circulación del aire, la disponibilidad de radiación entre y bajo follaje, aumenta la duración del periodo de mojadura en los componentes del dosel y como consecuencia de esa alta humedad, la temperatura y humedad del aire es mucho más estable (cuadro 4)

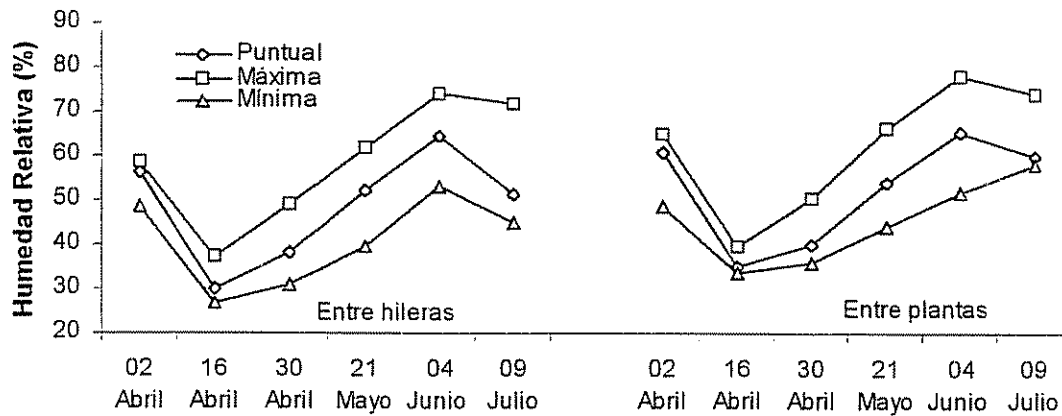


Figura 7 Humedad relativa puntuales, máximas y mínimas tomadas dentro de los cafetos y entre hileras del sistema convencional, Paraíso, Cartago, Costa Rica

A pesar de que se registraron diferencias porcentuales entre la humedad relativa presente entre plantas e hileras, los patrones de las curvas no mostraron grandes distorsiones (figura 7), por lo que se puede establecer que los cambios en la humedad relativa del sistema se desarrollan paralelamente entre plantas e hileras.

Una situación similar se observó en el cafetal orgánico (figura 8), puesto que las curvas de humedad relativa dentro de las hileras mostraron comportamientos similares. No obstante, el patrón de las curvas de humedad relativa entre plantas mostró algunas distorsiones que sugieren que los cambios en la HR se presentan en mayor tiempo dentro de las plantas, que entre las hileras.

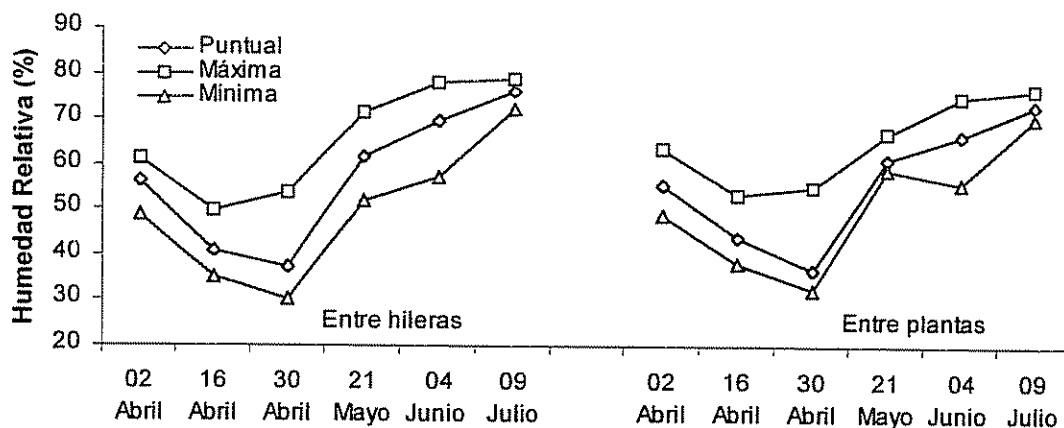


Figura 8. Humedad relativa puntual, máxima y mínima tomadas dentro de los cafetos y el carril del sistema orgánico, Paraíso, Cartago, Costa Rica.

Si se comparan las figuras 4 y 7; 5 y 8, se puede observar que en ambos sistemas, se presentó una respuesta inversa entre la temperatura y humedad relativa (HR), a tal grado que en la medida que la temperatura aumenta, la HR disminuye y viceversa. Por otro lado las distorsiones que las curvas mostraron, solamente se presentaron dentro de los cafetos del sistema orgánico, lo que demuestra que la sombra y el autosombreo de los cafetos en este sistema influencia en gran medida el comportamiento del microclima dentro del follaje de la planta.

4.2 Fertilidad del suelo en los sistemas convencional y orgánico

Las características químicas del suelo en ambos cafetales, se muestran en los cuadros 5 y 6. Se puede observar que el pH de ambos cafetales, se encontró fuera de los rangos adecuados (4.9 – 5.6), propuestos para el café por Valencia (1998), aunque se consideran dentro del rango de manejabilidad (4.5 – 6.0). El cafetal orgánico presentó el pH más alto (5.8) lo que lo sitúa dentro de un nivel medio, según las categorías de Bertsch (1995), comparado a 4.57 presente en el sistema convencional, considerado bajo. Por lo tanto la acidez extraíble ($< 0.5 \text{ cmol (+)/L}$) y el porcentaje de saturación de acidez (3.06%), son bajos en el cafetal orgánico y muy altos ($> 1.5 \text{ cmol (+)/L}$; 38.2%) en el sistema convencional, lo que puede explicarse por el efecto de las actividades de manejo propias de cada sistema: aplicaciones de CaCO_3 en el cafetal orgánico y formulas completas 12-24-12 en el convencional, aunado a una alta extracción de bases por el cultivo, en este sistema.

Los contenidos de magnesio resultaron ser más altos en la parcela orgánica con 1.4 cmol(+)/L en contraste con 0.96 cmol(+)/L de la parcela convencional. Mientras que los contenidos de potasio resultaron ser mayores en la parcela convencional 0.28 cmol(+)/L comparado a 0.15 cmol(+)/L, en el suelo orgánico. Esto probablemente por la adición de la fórmula completa en el mes de mayo. Los valores obtenidos de otros elementos como el cobre y el zinc, se encontraron en niveles medios en ambos sistemas y elementos como el manganeso y el hierro se encontraron en rangos superiores a los 50mg/L para Mn y 100mg/L para Fe, considerados por Bertsch (1995) como categoría alta.

A pesar de que en algunos de los muestreos los contenidos de calcio, magnesio, potasio y fósforo fueron menores en la parcela convencional que en la orgánica, se puede notar un aumento de estos elementos a partir de la aplicación de la fórmula completa en mayo. Según Valencia (1998), los principales elementos antagónicos entre sí, son el potasio, magnesio, calcio y sodio. Esto explica el comportamiento inverso entre las concentraciones de calcio y las de magnesio y potasio observados en ambos sistemas. En el suelo del cafetal convencional con menores concentraciones de calcio, se encontraron mayores concentraciones de potasio, no así en el sistema orgánico, en el cual las muestras con concentraciones mayores de calcio, mostraron concentraciones más altas de magnesio en el suelo. Por lo tanto la relación K:Ca:Mg (1:6:2), se presentó en ambos cafetales bastante desuniforme y desbalanceada hacia los contenidos de calcio y potasio 0.2:11.4:2 para el sistema orgánico y 0.58:4.9:2 para la finca convencional, esto puede influenciar la absorción de estos elementos para las plantas. Sin embargo Bertsch (1995), aduce que no hay evidencias prácticas del efecto real de estos desequilibrios, sobre los rendimientos de los cultivos. Por ello a pesar de los altos contenidos de calcio y las bajas concentraciones de potasio en el suelo de la finca orgánica, los niveles de magnesio permanecen en rango medio, esto sugiere que las acciones en este cafetal pueden ser dirigidas hacia corregir las deficiencias del elemento faltante (potasio), sin desequilibrar aún más la relación K:Ca:Mg. De igual forma sucede con el suelo del sistema convencional donde por la concentración de calcio se observaron niveles medios de potasio, pero no de magnesio (cuadro 5).

Los análisis también muestran una mayor concentración de cobre en el cafetal convencional 18.67 mg/L en contraste a 17.0 mg/L presentes en el cafetal orgánico y mayores niveles de zinc en el suelo orgánico (3.0 mg/L) que en convencional (2.67 mg/L). Las concentraciones de elementos como el fósforo, manganeso y el hierro fueron altas en ambos sistemas, pero fue en el sistema convencional en donde se presentaron los mayores valores de fósforo con 49.5 mg/L y hierro con

359.3 mg/L. La mayor concentración en manganeso se observa en el suelo de la finca orgánica con 55.67 mg/L en comparación a 52.3 mg/L que mostró el sistema convencional (cuadros 5 y 6)

Como se puede observar en los cuadros 5 y 6, los porcentajes de materia orgánica en el suelo, estuvieron por debajo del rango adecuado en ambos cafetales. Sin embargo, dado que presentan más de 4.0% de materia orgánica, pueden considerarse como manejables (Valencia, 1998)

En general, la mejor fertilidad se presentó en los suelos del sistema orgánico debido posiblemente a su mayor índice de capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE), el que alcanzó un valor de 10.14, superior al presentado por el suelo del convencional de 5.76 (Valencia, 1998, Bertsch, 1995).

Cuadro 5. Análisis de fertilidad del suelo en el cafetal orgánico. Paraiso, Cartago, Costa Rica, 2002.

Fecha	pH	Ac. Ext	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe	MOrg	K:Ca:Mg
			cmol(+)/l					mg/l			%	
12-03-02	6.46	0.09	10.28	1.90	0.24	15.60	-	-	-	-	9.40	1:6:2
13-05-02	5.6	0.33	8.44	1.55	0.15	13.01	-	-	-	-	8.30	
22-05-02	5.37	0.56	6.27	1.15	0.11	10.50	-	-	-	-	7.20	
24-06-02	5.73	0.48	7.89	1.12	0.11	10.23	-	-	-	-	6.77	
01-08-02	5.90	0.10	8.31	1.46	0.15	15.00	17.0	3.0	55.67	129.67	6.63	
	5.80 (m)	0.31 (b)	8.24 (a)	1.44 (m)	0.15 (b)	12.87 (m)	17.0 (m)	3.0 (m)	55.67 (a)	129.67 (a)	7.66	0.2:11.4:2

a= alta; m= media; b= baja, según las disposiciones de Bertsch (1995) y Valencia (1998) (anexos 6 y 7).

Cuadro 6. Análisis de fertilidad del suelo en el cafetal convencional. Paraiso, Cartago, Costa Rica, 2002.

Fecha	pH	Ac. Ext	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe	MOrg	K:Ca:Mg
			cmol(+)/l					mg/l			%	
12-03-02	4.6	2.28	2.34	0.89	0.25	56.9	-	-	-	-	7.24	1:6:2
13-05-02	4.53	2.15	2.26	0.85	0.25	56.5	-	-	-	-	7.67	
22-05-02	4.63	2.56	1.53	0.71	0.21	25.8	-	-	-	-	6.53	
24-06-02	4.43	2.23	1.94	0.85	0.33	47.0	-	-	-	-	6.83	
01-08-02	4.67	1.73	3.59	1.50	0.37	61.3	18.7	2.7	52.3	359.3	8.36	
	4.57 (b)	2.19 (a)	2.33 (m)	0.96 (b)	0.28 (m)	49.5 (a)	18.7 (m)	2.7 (m)	52.3 (a)	359.3 (a)	7.33	0.6:4.9:2

a= alta; m= media; b= baja, según las disposiciones de Bertsch (1995) y Valencia (1998) (anexos 6 y 7).

4.3 Promedios de hojas por estratos en los cafetos del sistema convencional y orgánico

En general en ambos sistemas, el promedio de hojas en las bandolas (ramas plagiotrópicas) de los cafetos, fue mayor en los estratos inferiores de las plantas; comparado al número de hojas presentes en el estrato superior. Los promedios más altos, se observaron en los cafetos del sistema orgánico 23.4 y 20.1 hojas en el estrato inferior y superior, respectivamente. Comparado con 23.2 en el estrato inferior y 14.6 hojas en el superior, en el cafetal convencional. Sin embargo es importante destacar que los promedios de hojas en los estratos superiores fueron muy similares en ambos sistemas (figura 9).

Las pruebas estadísticas mostraron alta correlación entre el follaje y enfermedades como roya ($r^2=0.54$; $r=-0.74$; $p=0.0149$), mancha de hierro ($r^2=0.7032$; $r=-0.84$; $p=0.0024$) y ojo de gallo ($r^2=0.80$; $r=0.89$; $p=0.11$) en el estrato inferior. Se observó correlación media entre el follaje, roya ($r=0.66$, $p=0.0389$) y mancha de hierro ($r=0.67$; $p=0.0361$) en el estrato superior del café convencional. En el sistema orgánico se encontraron altas correlaciones entre las hojas y mancha de hierro ($r^2=0.52$; $r=-0.72$; $p=0.0191$) en el nivel superior de la planta y correlación media con roya ($r=-0.50$; $p=0.14$) en la parte inferior de los cafetos.

Las correlaciones inversas que se presentaron en los estratos inferiores de las plantas en ambos sistemas ($r=-0.74$; $r=-0.50$), donde se observa la mayor cantidad de hojas (23.4 en el orgánico y 23.2 en el convencional), puede ser el resultado de una alta compensación de los cafetos como respuesta a la defoliación provocada por el ataque de enfermedades. En el caso del sistema convencional se puede considerar también el aumento de la tasa metabólica de la planta ante una mayor exposición solar. La continua producción de hojas y la defoliación de las plantas, hicieron difícil establecer la interacción entre la precipitación y la producción de hojas, notándose un efecto aparentemente inverso entre los patrones de lluvia y la biomasa foliar (figura 9).

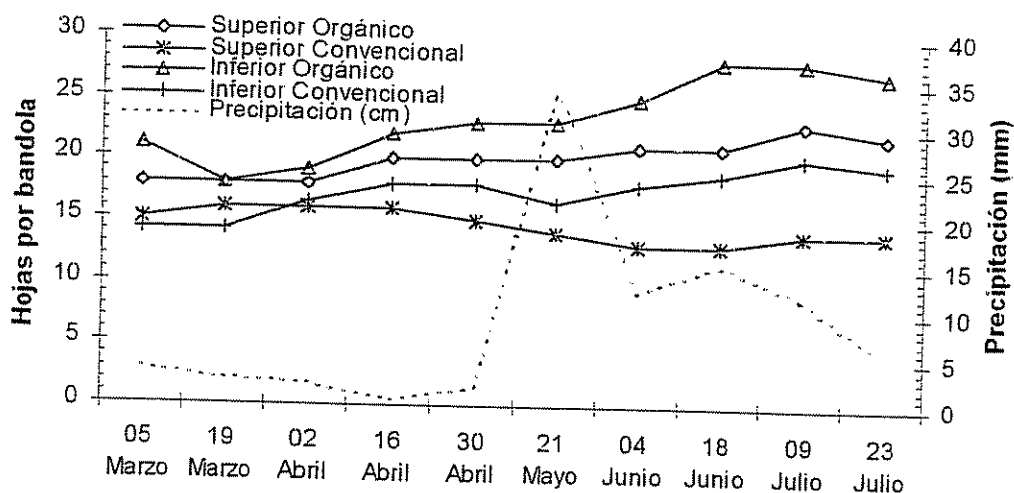


Figura 9. Promedio de hojas en los cafetos de las fincas Cristina y los Meza. Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.

Según González (1998), la tasa de desfoliación y renovación de hojas varía en fincas con diferentes porcentajes de sombra. Con 23% de sombreado, se presenta una mayor tasa de desfoliación y renovación de hojas en el tiempo, lo que conlleva a una mayor cantidad de hojas dentro del plantío al final del periodo. Por lo tanto, la desfoliación bajo condiciones de solarización alcanza mayores niveles probablemente por efecto de estrés y acortamiento de la longevidad de las hojas, en comparación a cafetos que han crecido bajo niveles de sombra por el orden del 44% y 55%.

4.4 Incidencia de las enfermedades foliares y su relación con los factores microclimáticos

4.4.1 Incidencia de Ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk et Curt)

La incidencia del ojo de gallo, mostró diferencias significativas entre los sistemas ($r^2 = 0.71$; $cv = 6.13$; $p < F = 0.0023$) y fue mayor en el cafetal orgánico en donde alcanzó niveles entre el 6.7% al 21.7%, con promedios de 15.3% en el estrato superior y 11.4% a 22.7% con promedio de 15.8% en el estrato inferior, mientras que los valores observados en la incidencia de esta enfermedad, en el cafetal convencional variaron entre 0% a 7.0% con promedios de 2.7% y 3.1% en los estratos superior e inferior, respectivamente (figura 10).

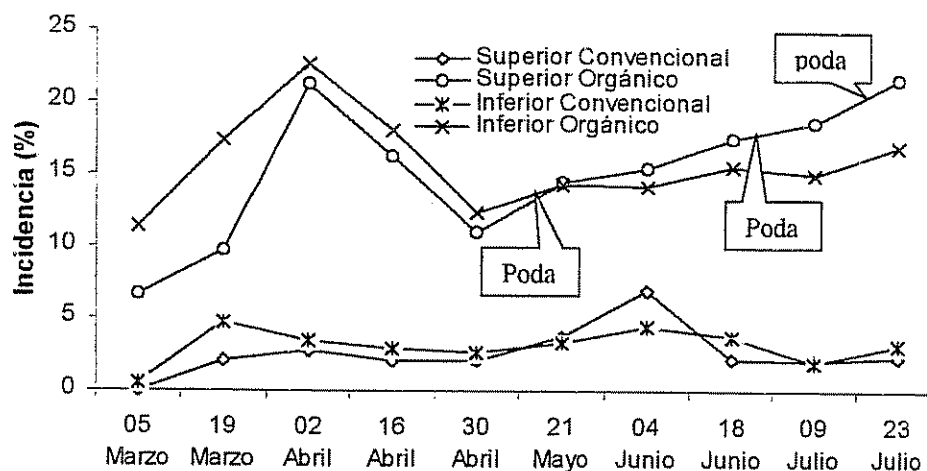


Figura 10 Incidencia de *Mycena citricolor* sobre el follaje de los cafetos en una finca orgánica y otra convencional Paraíso, Cartago, Costa Rica 2002

A pesar del bajo nivel de significancia estadística entre los estratos ($p > F = 0.0862$), en el sistema orgánico se pueden observar fluctuaciones a lo largo del tiempo. Tal es el caso de valores de incidencia de 11.4% y 19.4% en el estrato inferior, mayores que los observados en el estrato superior 6.7% y 9.7% durante el mes de marzo, y 18.6% y 21.0% observados en el estrato superior en contraste a 15.0% y 17.0% de incidencia mostrada por el estrato inferior durante el mes de julio. Estas fluctuaciones no fueron relativamente importantes en el sistema convencional (figura 10).

En general, esta enfermedad mostró niveles considerables de incidencia, pero se presentó de forma focalizada en ambos cafetales, focos en los cuales se observó mayor defoliación, principalmente en la finca orgánica. No obstante, esta incidencia no representó mayor riesgo para la plantación dado que los dos momentos de mayor incidencia, coincidieron uno con la defoliación natural y el otro se presentó cuando el llenado de los frutos se había completado.

Los análisis estadísticos mostraron correlaciones moderadas entre el desarrollo del ojo de gallo y la temperatura media en el estrato inferior y superior del sistema convencional ($r = 0.518$; $p = 0.1255$) y ($r = 0.5172$; $p = 0.1258$) respectivamente y ($r = 0.5747$; $p = 0.0822$) en el estrato superior del sistema orgánico. En ambas plantaciones no se encontró correlación entre la incidencia de la enfermedad y las variables humedad y precipitación. Resultados que concuerdan con los obtenidos por Samayoa (1999).

A pesar que González (1979) considera que la manipulación de la sombra puede ser clave para el manejo del ojo de gallo en café. En este estudio su efecto no se pudo distinguir, dado que la regulación de sombra se ejecutó cuando ya se habían alcanzados niveles altos de sombra (70% - 90%), además de haberse realizado de forma escalonada dentro de la plantación orgánica.

4.4.2 Incidencia de roya (*Hemileia vastatrix* Berk & Br)

La incidencia de esta enfermedad, mostró diferencias estadísticas significativas entre los sistemas ($r^2= 0.785$; $cv= 3.943$; $p>F= < 0.0001$). En el cafetal convencional se observaron los mayores niveles de incidencia, que oscilaron entre el 10.5% al 20.1% con promedio de 14.1% en el estrato inferior y 13.2% a 17.5% con promedio de 14.4% en el estrato superior. En contraste, los valores observados en el cafetal orgánico variaron entre los 1.5% a 5.7% con promedio de 3.54% en el estrato inferior, y 1.9% a 3.14% con promedio de 2.41% en el estrato superior de esta plantación. Así mismo, los análisis estadísticos no mostraron diferencias estadísticas significativas en la incidencia de la enfermedad en los estratos de cada uno de los sistemas (figura 11)

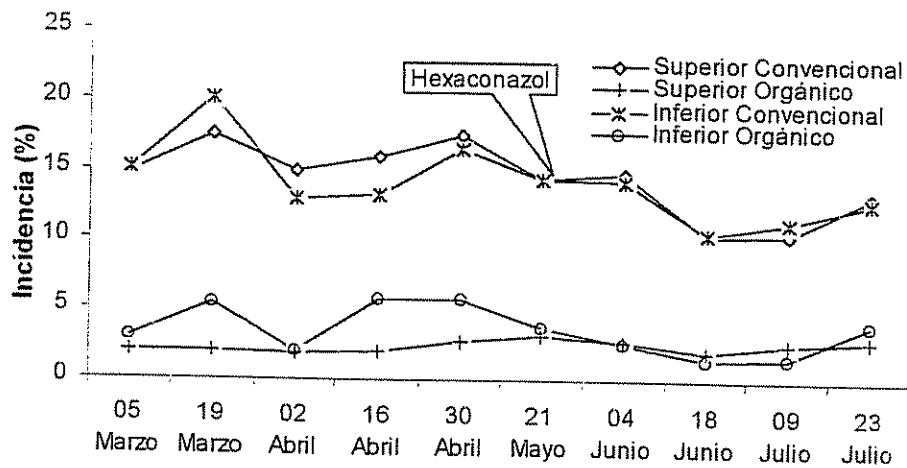


Figura 11 Incidencia de *Hemileia vastatrix* sobre el follaje de los cafetos en una finca orgánica y otra convencional, Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002

Esta enfermedad se presentó generalizada en el cafetal convencional, y contribuyó con la defoliación que se observó durante el mes de marzo a abril, periodo en el cual también se presentó el porcentaje más alto de su incidencia (figura 11) En el café orgánico la enfermedad se desarrolló en focos, por lo que su efecto sobre la defoliación de los cafetos fue menor, y presentó un grado de correlación bajo con el número de hojas presentes en los estratos ($r= - 0.50$; $p= 0.14$)

La enfermedad, no representó ningún riesgo para la plantación orgánica debido a su baja incidencia, y en el caso del café convencional el riesgo disminuyó gracias a la alta producción hojas nuevas que se presentó desde marzo hasta mayo, al inicio de las lluvias.

El efecto de la aplicación de hexaconazol (Anvil) no quedó claro (figura 11), probablemente por que se usó solo una vez durante el ciclo, aunque se observó una disminución de la enfermedad inmediatamente después de la aplicación el 25 de mayo (cuadro 2), no se pudo atribuir como efecto del producto, ya que el comportamiento decreciente en la incidencia de la enfermedad, siguió el mismo patrón en la plantación orgánica, donde no se hizo ninguna aplicación.

Los análisis estadísticos mostraron en el sistema convencional alta correlación entre la incidencia de la enfermedad y factores ambientales como: precipitación, humedad relativa mínima, temperatura media y temperatura mínima en el estrato superior y alta correlación con la humedad relativa media en el estrato inferior (Cuadro 7; figura 12 y 13).

Cuadro 7. Resultados de las pruebas estadística que muestran las correlaciones entre el desarrollo de roya y las variables ambientales en el sistema convencional.

<i>Estratos</i>	<i>Variable</i>	<i>R</i>	<i>R²</i>	<i>C (p)</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>
Superior	Humedad mínima	-0.7845	0.6155	11.9710	12.81	0.0072
	Temperatura media	0.8877	0.7880	5.9083	5.70	0.0484
	Temperatura mínima	0.9298	0.8646	4.3274	3.40	0.1149
	Precipitación	-0.9671	0.9352	3.0286	5.45	0.0669
Inferior	Humedad media	-0.8233	0.6778	6.2276	16.83	0.0034

En la plantación orgánica, se pudo observar una alta correlación ($r^2= 0.5369$; $r= 0.7327$; $p= 0.0159$) entre la humedad media y la incidencia de *H. vastatrix*, en el estrato inferior y una correlación media ($r= 0.5569$; $p= 0.0945$) entre la precipitación y el desarrollo de la enfermedad.

Esto demuestra que bajo estas condiciones de plena exposición solar, la determinación del efecto de los factores ambientales sobre el desarrollo de las enfermedades es mas clara que en los sistemas orgánicos, por la presencia de la sombra, el manejo de la misma (frecuencia de corta e intensidad) y los efectos de esta sobre las variables ambientales dentro del cafetal.

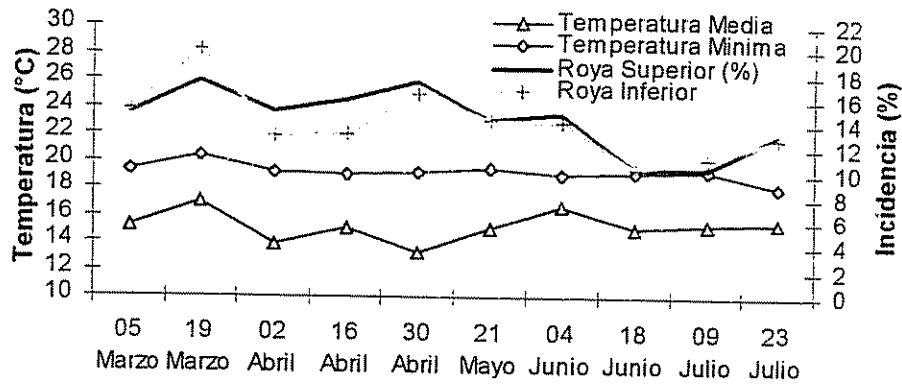


Figura 12. Efecto de la temperatura media y mínima, sobre el desarrollo de *H. vastatrix* en el sistema convencional. Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002

Nótese que existe cierta tendencia de respuesta entre la curva de la temperatura mínima y la incidencia de la roya, a tal punto que a medida la temperatura mínima aumenta a partir del 30 de abril, la incidencia de la enfermedad tiende a decrecer (figura 12). Un patrón similar se muestra en el comportamiento de la enfermedad al compararlo con la precipitación (figura 13), aquí se puede apreciar un comportamiento decreciente de la enfermedad a partir del mes de mayo, periodo en el cual se observa un aumento de las precipitaciones, con respecto a los meses anteriores. Esto probablemente se deba al efecto de lavado de los propágulos del patógeno, ocasionado por el incremento de la precipitación durante los meses de mayo a julio y como efecto de la desprotección de los cafetos por falta de sombra, lo que hace que la distribución de la lluvia sobre los estratos de las plantas sea más uniforme y el impacto de las gotas se presente directamente sobre el filoplano de los cafetos.

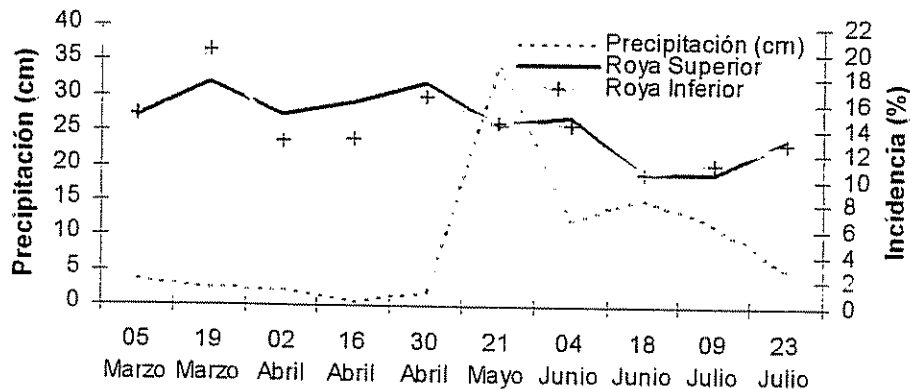


Figura 13 Efecto de la precipitación, sobre el desarrollo de *H. vastatrix* en el sistema convencional. Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002

Algunos autores señalan que la incidencia de roya es mayor en cafetales bajo sombrío (Vargas y Mora, 1984) y que esta enfermedad es más importante en el estrato inferior (Guharay *et al.*, 2000), debido a la menor cantidad de luz que penetra el dosel de los árboles de sombra y el autosombreamiento de los cafetos, que favorece una mayor humedad relativa dentro de la plantación, como la prolongación del periodo de mojadura sobre el filoplano (agua libre). Todo lo anterior propicia tanto la germinación de las uredosporas como la penetración del patógeno. Sin embargo no se presentaron diferencias estadísticas entre los estratos de la plantas, lo que sugiere que la enfermedad puede generalizarse en toda la planta, bajo condiciones climáticas favorables como sucedió con la humedad relativa, la cual mantuvo porcentajes promedios superiores a 92.0% en ambos sistemas, durante la realización de este estudio. Otros autores han asociado la incidencia de roya a los niveles de acidez de los suelos (Avelino, *et al.* 1999), esto pudo haber sido el factor que condicionó la mayor incidencia de la enfermedad en la plantación convencional, la cual presentó un pH de 4.57 y un mayor porcentaje de saturación de acidez, contrario a lo encontrado en el sistema orgánico, en el cual el pH se mantuvo por encima de los 5.6.

4.4.3 Incidencia de Mancha de Hierro (*Cercospora coffeicola* Berk & Coke)

Esta enfermedad se presentó generalizada dentro de los cafetales, y fue la responsable junto a la roya, de la defoliación que se observó durante el mes de marzo a abril, en ambos sistemas, dada la alta correlación existente entre *C. coffeicola* y el número de hojas sobre los cafetos ($r = 0.67$; $p = 0.0361$) y ($r^2 = 0.52$; $r = -0.72$; $p = 0.0191$) para la plantación convencional y orgánico respectivamente.

La incidencia de esta enfermedad, mostró diferencias estadísticas significativas entre los sistemas ($r^2 = 0.6236$; $cv = 3.7976$; $p > F = < 0.0001$) y fue en el cafetal convencional en donde se observaron los mayores niveles de incidencia, que oscilaron entre el 0.6% al 6.7% con promedio de 2.74% en el estrato inferior, e incidencias entre los 3.2% a 17.1% con promedio de 8.06% en el estrato superior de este sistema. Los valores mostrados en el cafetal orgánico fluctuaron entre los 0.0% a 6.7% con promedio de 1.43% en el estrato inferior y 0.09% a 14.1% con promedio de 3.77% en el estrato superior de esta plantación. Así mismo los análisis demuestran la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los estratos de cada uno de los sistemas ($p = 0.002$), por tanto el comportamiento de la enfermedad entre los estratos de cada plantación difieren entre sí (figura 14).

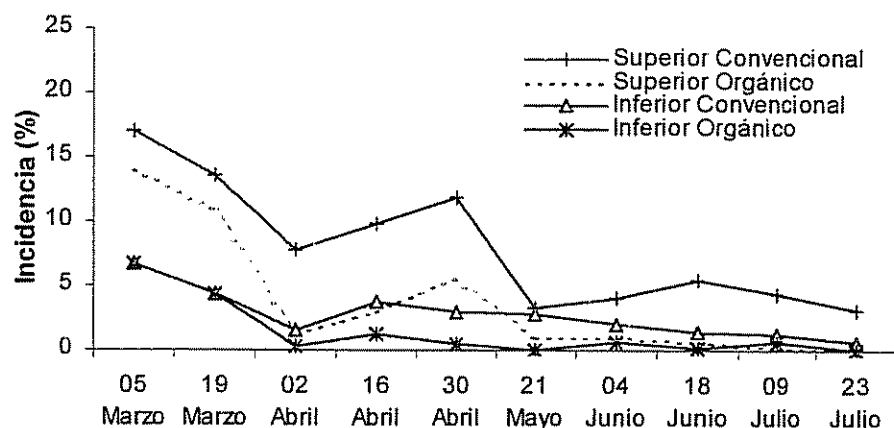


Figura 14. Incidencia de *Cercospora coffeicola* sobre el follaje de los cafetos en una finca convencional y otra orgánica, Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002

A pesar que la incidencia de la enfermedad fue alta durante los primeros meses, su comportamiento a lo largo del estudio tuvo una tendencia decreciente hasta alcanzar niveles muy bajos. Los estratos superiores fueron los más afectados por esta enfermedad, lo cual coincide con estudios de Monterroso (1999); Guharay *et al.* (2000), donde la preferencia de esta enfermedad por el estrato superior de la planta, está ampliamente documentado.

Los análisis estadísticos encontraron correlación moderada entre el desarrollo de la enfermedad y la humedad relativa media ($r^2 = 0.3844$; $r = 0.62$; $p = 0.0559$) en el cafetal orgánico. Así mismo, correlaciones moderadas en el cafetal convencional entre la incidencia, precipitación y humedad relativa mínima en ambos estratos y alta correlación con temperatura máxima en el estrato inferior (Cuadro 8, Figura 15 y 16).

Cuadro 8. Resultados de las pruebas estadística que muestran las correlaciones entre el desarrollo de mancha de hierro y las variables ambientales en el sistema convencional.

Estratos	Variable	R	R ²	C (p)	F	Pr > F
Superior	Humedad mínima	-0.697	0.4861	0.2367	7.57	0.0250
	Precipitación	-0.5927	0.3512	2.000	4.33	0.0710
Inferior	Humedad mínima	-0.5942	0.3531	1.7324	4.37	0.0700
	Temperatura máxima	0.8420	0.6790	-0.1626	7.11	0.0322

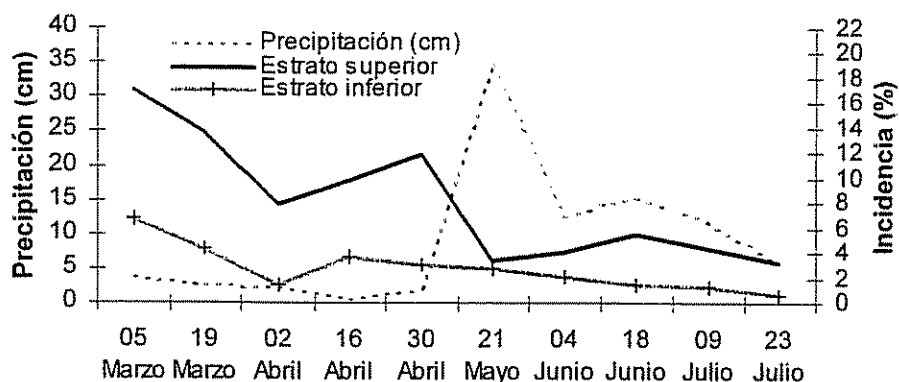


Figura 15. Efecto de la precipitación en el desarrollo de *C. coffeicola* en el sistema convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.

Como se puede observar, existe una tendencia de respuesta en el desarrollo de la enfermedad y e comportamiento de las precipitaciones y es en el estrato inferior del sistema, en el que este comportamiento se hace más evidente, pues a medida que el volumen de las precipitaciones aumentó, la incidencia de la enfermedad en este estrato disminuyó (figura 15). Una respuesta más clara se puede observar al comparar la curva de humedad relativa con la curva de incidencia de la enfermedad (figura 16).

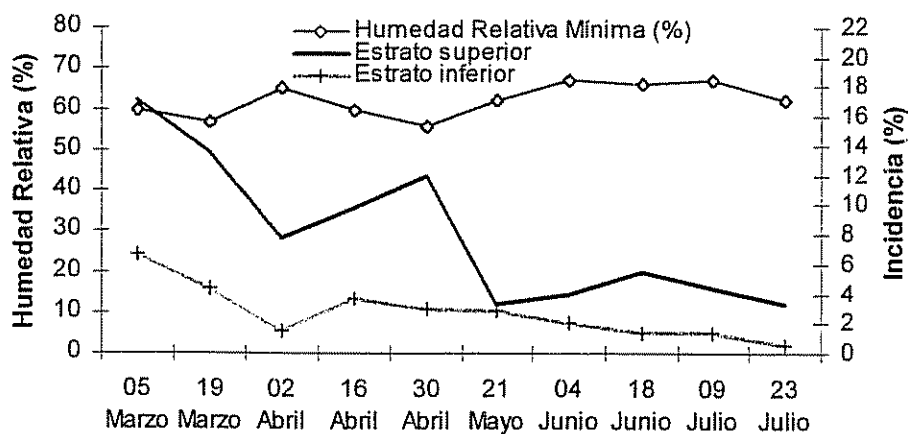


Figura 16. Efecto de la humedad relativa mínima en el desarrollo de *C. coffeicola* en el sistema convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2002.

Nótese que el aumento o disminución del porcentaje de humedad relativa en la curva, repercute en una disminución o aumento en la incidencia de la enfermedad, estableciéndose un patrón inverso de este factor climático y la mancha de hierro: Esto se podría relacionar a la presencia de alta

nubosidad en la zona, acrecentada durante la época lluviosa, así como antes y después de las precipitaciones.

La correlación entre la temperatura máxima y el desarrollo de la enfermedad en el cafetal convencional, es el resultado de la exposición de los cafetos al sol, condición que según Monterroso (1999), favorece el desarrollo de la enfermedad

4.4.4 Incidencia de Antracnosis (*Colletotrichum spp Noak*) y Derrite (*Phoma costarricensis*)

Las curvas epidemiológicas de estas enfermedades en el sistema convencional, mostraron un patrón de comportamiento similar, siendo más fluctuante en antracnosis que en derrite. Los rangos de incidencia de *Colletotrichum* oscilaron entre 0.0% a 0.75% con promedio de 0.46% en el estrato inferior y 0.14% a 1.61% con promedio de 0.71% en el estrato superior y en *P. costarricensis* oscilaron entre 0.0% - 0.23% con promedio de 0.11% en el estrato inferior y 0.0% - 0.26% con promedio de 0.07% en el estrato superior del sistema convencional (Figura 17)

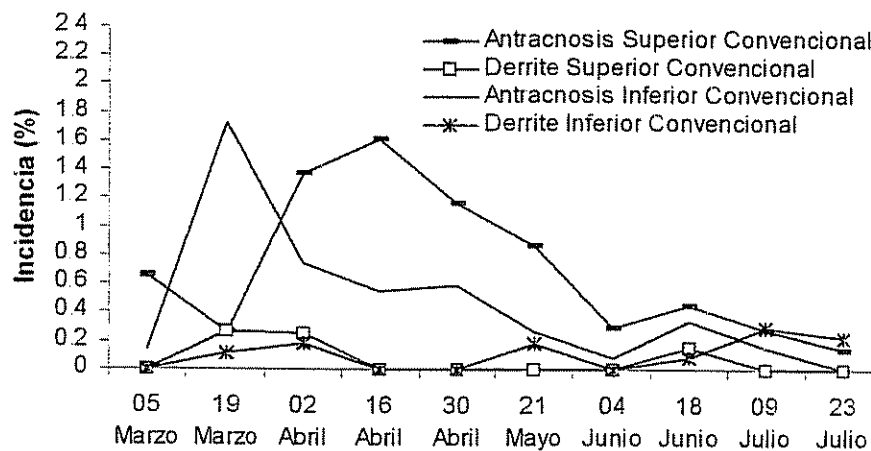


Figura 17 Incidencia de *Colletotrichum spp* y *Phoma costarricensis* sobre el follaje de los cafetos de una finca convencional, Paraíso, Cartago, Costa Rica 2002

Colletotrichum se presentó en ambas plantaciones creciendo sobre hojas viejas o previamente atacadas por roya u ojo de gallo. Las lesiones se redujeron a medida fue apareciendo el nuevo follaje; Esto se puede explicar si se considera que este hongo es un oportunista, que aprovecha tejido dañado, viejo o débil para iniciar su ataque

En el cafetal orgánico, las curvas epidemiológicas de estas enfermedades mostraron patrones diferentes en los estratos de las plantas, siendo en esta plantación más fluctuante antracnosis que derrite. Los rangos de incidencia de *Colletotrichum* oscilaron entre 0.11% a 2.34% con promedio de 0.44% en el estrato inferior y 0.09% a 0.89% con promedio de 0.55% en el estrato superior y en *P. costarricensis* oscilaron entre 0.0% - 1.22% con promedio de 0.40% en el estrato inferior y 0.09% - 0.87% con promedio de 0.49% en el estrato superior de este sistema. Tanto *Colletotrichum* como *P. costarricensis* tuvieron incidencia más alta en el café orgánico, siendo antracnosis la enfermedad con más incidencia en ambos estratos de las plantaciones (figura 18)

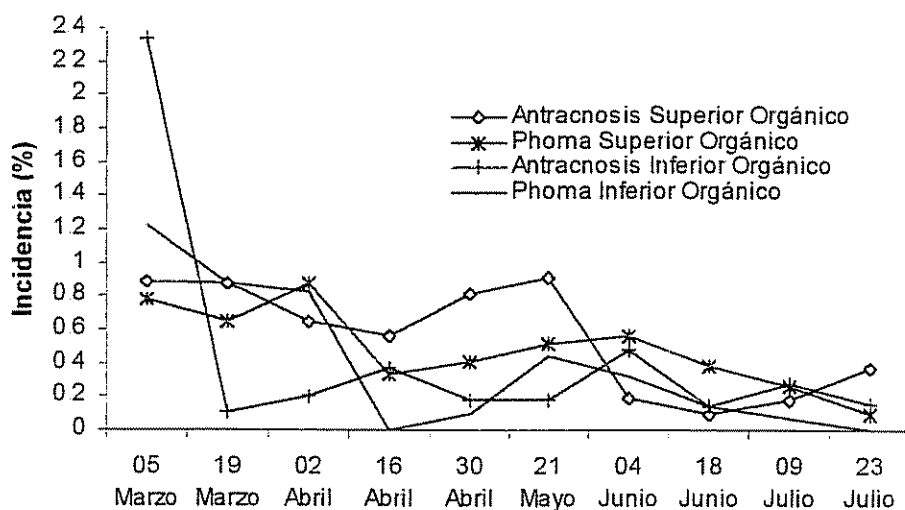


Figura 18 Incidencia de *Colletotrichum spp* y *Phoma costarricensis* sobre el follaje de los estratos de los cafetos de una finca orgánica, Paraiso, Cartago, Costa Rica. 2002

Es importante resaltar que a pesar de la alta humedad imperante durante todo el periodo de estudio, condición que favorece al derrite, según lo explica Guharay; *et al* (2000), la incidencia de *P. costarricensis* fue poco importante en ambas plantaciones y en general estas enfermedades carecieron de relevancia debido a su baja incidencia y poca persistencia dentro de los cafetales. Así mismo no se encontró correlación alguna con las variables ambientales y su desarrollo.

4.4.5 Incidencia de las enfermedades en cada sistema.

En términos generales, no se encontró diferencias significativas entre los sistemas en cuanto a la incidencia total de todas las enfermedades en el ciclo, 23.21% en el cafetal convencional y 22.03% en el orgánico. No obstante, si se encontraron diferencias significativas ($p= 0.0322$), entre las fechas y la incidencia, lo que responde a las fechas en que el porcentaje de incidencia de la principal enfermedad (roya en convencional y ojo de gallo en orgánico), alcanzó los niveles más altos en cada sistema (Figura 19).

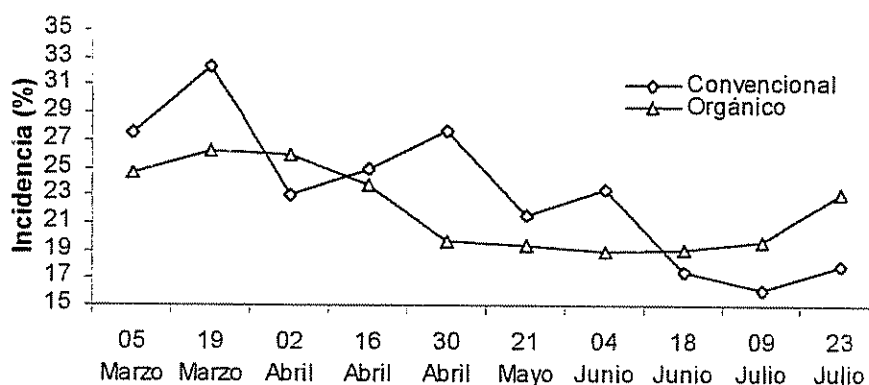


Figura 19 Incidencia de las enfermedades totales en una finca convencional y otra orgánica. Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.

Nótese que el cafetal convencional presenta mayor incidencia de enfermedades a lo largo del tiempo de estudio y las fluctuaciones de la curva epidemiológica se hacen más acentuadas, que en el cafetal orgánico, lo que se puede explicar como una respuesta de las enfermedades a la oscilación de los factores ambientales a lo largo de los días del ciclo en el cafetal a pleno sol, comportamiento que no se presenta en el cafetal bajo sombrío, dada la mayor estabilidad microclimática del mismo Jiménez (2001) Explica, que las prácticas agrícolas realizadas en los cultivos bajo sombrío, tienen gran importancia en la regulación de las condiciones microclimáticas, pues influyen directamente sobre factores meteorológicos de importancia para los patógenos del filoplano, como son la temperatura, humedad, periodo de mojadura de las hojas, velocidad del viento y radiación solar

La incidencia de las enfermedades totales en los estratos de las plantas fue mayor en los estratos superiores de los cafetales oscilando entre 17.28% a 33.72% con promedio de 25.9% en el plantío convencional y 19.82% a 25.82% con promedio de 22.48% en el orgánico e incidencia entre

15.02% a 30.93% con promedio de 20.52% en el estrato inferior convencional y 17.42% a 28.18% con promedio de 21.58% en el orgánico. Esto demuestra que a pesar de las fluctuaciones de las curvas, no existieron diferencias significativas entre los estratos de cada cafetal, los que siguieron un patrón similar de comportamiento (Figuras 20).

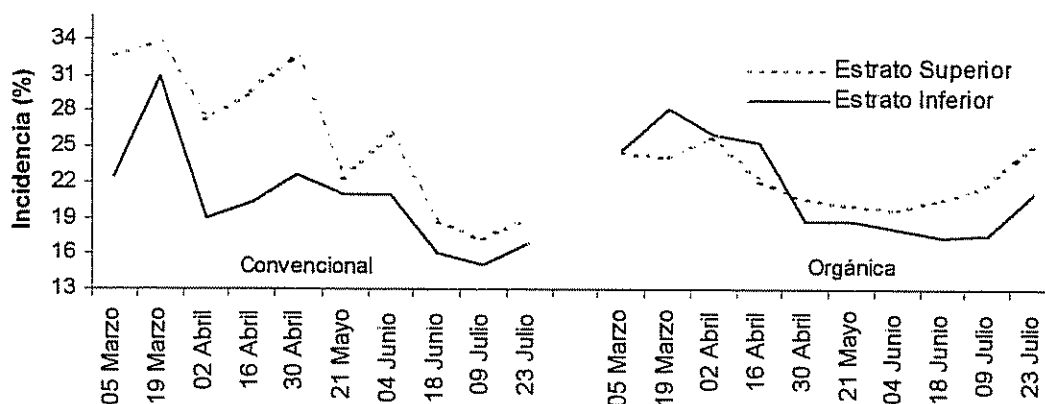


Figura 20. Incidencia de las enfermedades totales, por estrato en la plantación convencional y orgánica. Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.

Las pruebas estadísticas mostraron correlaciones fuertes entre el desarrollo de las enfermedades en el sistema convencional y los factores climáticos humedad media y mínima y temperatura media, en el estrato inferior y con humedad media y temperatura media con el estrato superior (cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados de las pruebas estadística que muestran las correlaciones entre el desarrollo de las enfermedades y las variables ambientales en el sistema convencional.

<i>Estrato</i>	<i>Variable</i>	<i>R</i>	<i>R²</i>	<i>C(p)</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>
Inferior	Humedad media	0.7714	0.5950	3.6111	11.75	0.0090
	Temperatura media	0.8593	0.7384	3.2077	3.84	0.0910
	Humedad mínima	0.9204	0.8471	1.6290	4.26	0.0845
Superior	Humedad media	0.7172	0.5144	3.3149	8.47	0.0196
	Temperatura media	0.8296	0.6883	1.9782	3.91	0.0886

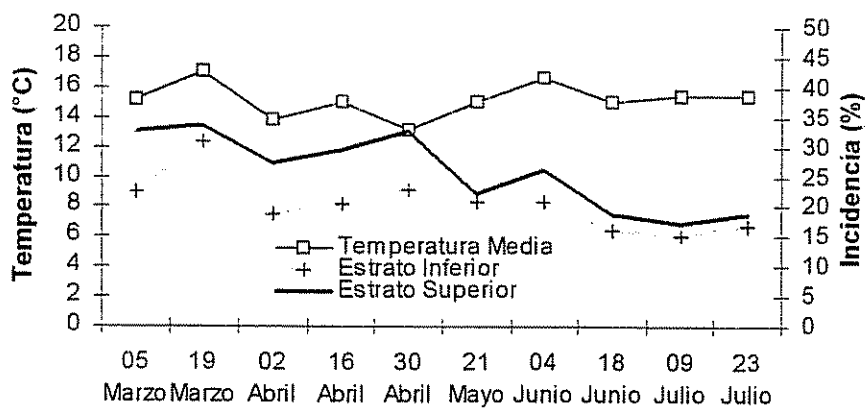


Figura 21 Incidencia de enfermedades totales, por estrato en el sistema convencional y su relación con la temperatura media Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002

Nótese en la figura 21 que existe relación entre las curvas de incidencia de las enfermedades y la temperatura, a tal punto que las variaciones ascendentes o descendentes en los valores de temperatura se reflejan en el comportamiento ascendente o descendente de las enfermedades. No obstante la disminución en la incidencia de enfermedades a partir de mayo, es también el resultado del incremento en la precipitación y humedad relativa (figuras 22 y 23).

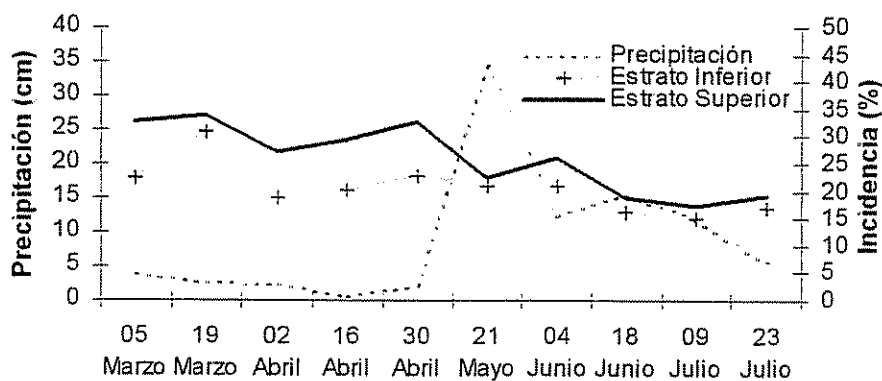


Figura 22 Incidencia de enfermedades totales, por estrato en el sistema convencional y su relación con la precipitación Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.

Nótese que la curva de enfermedades disminuye a partir del incremento de las lluvias. A tal punto que las oscilaciones crecientes o decrecientes en la incidencia de las enfermedades se mueve en sentido opuesto a la fluctuación de la precipitación, probablemente por el hecho de que el comportamiento de la curva epidemiológica de las enfermedades en este sistema, está bastante influenciado por la roya y mancha de hierro que fueron las enfermedades principales en la

plantación convencional ($r^2 = 0.8404$; $p = 0.0037$ y $r^2 = 0.8057$; $p = 0.0061$ en los estratos superior e inferior respectivamente).

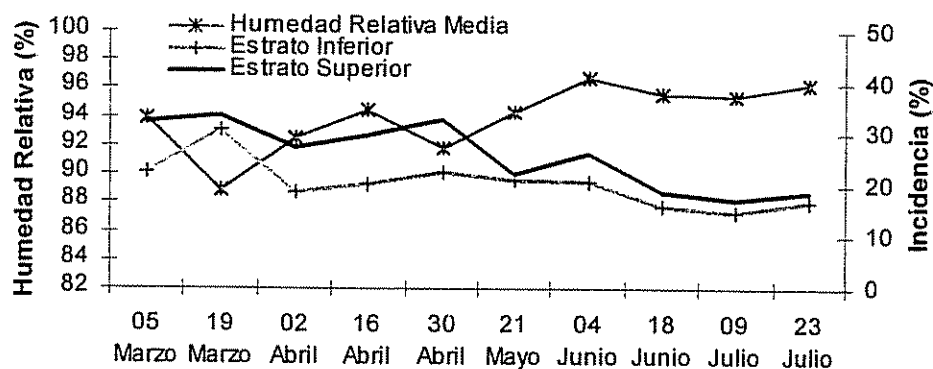


Figura 23. Incidencia de enfermedades totales, por estrato en el sistema convencional y su relación con la humedad relativa. Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.

Un patrón similar se pudo observar con la temperatura media, en la cual los movimientos crecientes en los rangos de este factor tuvieron como impacto una disminución en la incidencia de las enfermedades, este patrón probablemente también esté asociado a la influencia de la roya y mancha de hierro sobre la dinámica de la curva.

Las pruebas estadísticas también mostraron fuertes correlaciones entre el desarrollo de las enfermedades totales en el sistema orgánico y los factores climáticos humedad relativa media, máxima y mínima; temperatura media, máxima y mínima y correlaciones moderadas con la precipitación (cuadro 10).

Cuadro 10. Resultados de las pruebas estadística que muestran las correlaciones entre el desarrollo de las enfermedades y las variables ambientales en el sistema orgánico.

Variable	R	R ²	C(p)	F	Pr, F
Humedad media	0.7714	0.5950	3.6111	11.75	0.0090
Temperatura media	0.8593	0.7384	3.2077	3.84	0.0910
Humedad mínima	0.9204	0.8471	1.6290	4.26	0.0845
Humedad media	0.7172	0.5144	3.3149	8.47	0.0196
Temperatura media	0.8296	0.6883	1.9782	3.91	0.0886
Precipitación	0.5912	0.3495	5.3319	4.30	0.0719

La incidencia de las enfermedades en ambos estratos del cafetal orgánico, presentaron cierta respuesta con la precipitación. Así se pudo observar que en el periodo de marzo a abril, la incidencia decreció probablemente en respuesta al periodo de baja precipitación que caracteriza al mes de abril. Las altas precipitaciones de mayo, probablemente por nubosidad y lavado de propágulos disminuyeron aún más la incidencia de las enfermedades. Sin embargo, una vez que el volumen de lluvia disminuyó, se reinició nuevamente el ascenso en la incidencia de las enfermedades (figura 24). Se observó que en la medida que la temperatura media aumentó o decreció, la incidencia de las enfermedades respondieron en sentido opuesto a este factor (figura 25). Esto se debió a que el comportamiento de esta curva epidemiológica en este sistema, estuvo bastante influenciado por el ojo de gallo, que fue la enfermedad principal en esta plantación ($r^2 = 0.8477$; $p = 0.0033$ y $r^2 = 0.7821$; $p = 0.0082$ en los estratos superior e inferior respectivamente).

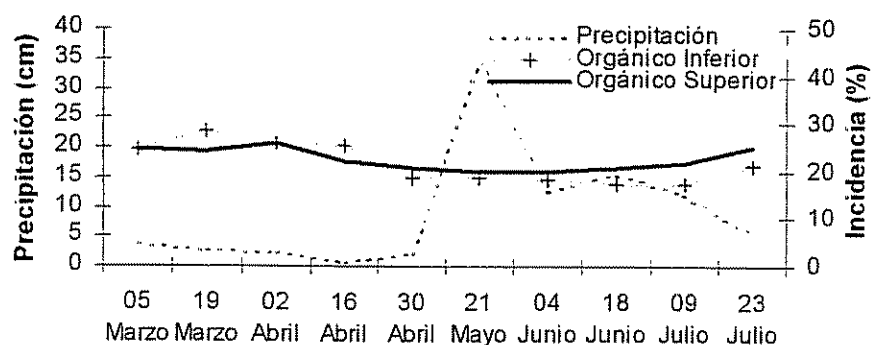


Figura 24 Incidencia de enfermedades totales, por estrato en el sistema orgánico y su relación con la precipitación. Paraíso, Cartago, Costa Rica 2002.

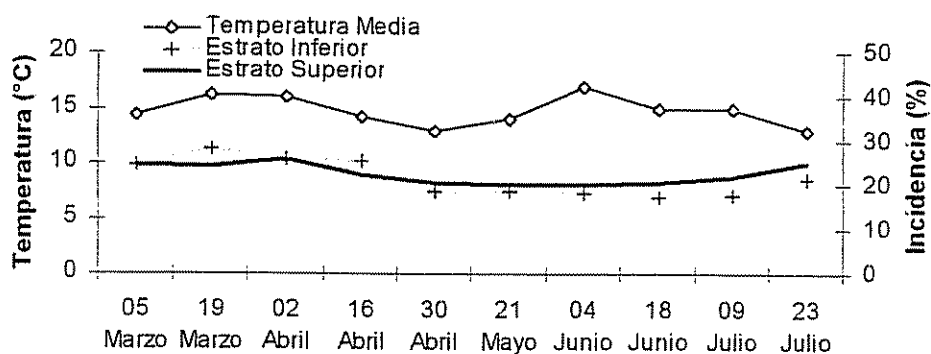


Figura 25 Incidencia de enfermedades totales, por estrato en el sistema orgánico y su relación con la temperatura media. Paraíso, Cartago, Costa Rica 2002.

4.5 Población de microorganismos epifitos sobre el filoplano de los cafetos manejados orgánica y convencionalmente y evaluación del efecto de las variables ambientales sobre su dinámica.

Los grupos de microorganismos encontrados en este estudio fueron: Algas, Hongos, Levaduras, Bacterias y mohos muscilaginosos

4.5.1 Géneros y comportamiento de las colonias de hongos aislados del filoplano de los cafetos.

Los géneros de hongos epifitos aislados del filoplano de los cafetos fueron: *Rhizopus*, *Mucor*, *Geotrichum*, *Oidiodendron*, *Curvularia*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Verticillium*, *Bispora*, *Sepedonium* (del grupo parecido a *Verticillium*), *Thielaviopsis*, *Fusarium* (*dlamini*, *solani*, *oxysporum*, *poae*, *roseum* y tres especies más), *Paecilomyces* y *Nigrospora*. El género más abundante en el café convencional fue *Fusarium* y en el café orgánico *Rhizopus* y *Fusarium*. El número de colonias promedio por muestreo y los porcentajes de cada género, se ilustran en el cuadro 11

Cuadro 11 Número de colonias y porcentajes por género de hongos identificados en el filoplano de los cafetos en el sistema convencional y orgánico.

Sistema	Estrato	Colonias Totales	<i>Fusarium</i>		<i>Rhizopus</i>		<i>Geotrichum</i>		No identificado		**Otros	
			Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Convencional	Superior	79.0	29.9	37.8	7.7	9.7	6.7	8.5	1.7	2.2	1.7	41.8
	Inferior	44.6	17.7	39.7	3.9	8.7	5.3	12.0	2.2	4.9	2.2	34.7
	Promedio	61.8	23.8	38.8	6.8	9.2	6.0	10.2	2.0	3.5	2.0	38.3
Orgánico	Superior	24.0	4.7	19.4	7.2	30.1	1.3	5.4	0.2	0.9	0.2	44.2
	Inferior	44.3	9.9	22.4	17.2	38.9	1.4	3.1	1.8	4.0	1.8	31.6
	Promedio	34.2	7.3	20.9	12.2	34.5	1.4	4.2	1.0	2.5	12.3	37.9

** Otros: *Oidiodendron*, *Curvularia*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Verticillium*, *Bispora*, *Sepedonium*, *Thielaviopsis*, *Paecilomyces* y *Nigrospora*

No identificado: Micelio rosado (PDA), microconidias abundantes, hialinas, aseptadas o biseptadas, con vacuolas o núcleos presentes, macroconidias escasas, hialinas con 4-6 septos

Nº: Número de colonias presentes por género o grupo

De los géneros *Mucor*, *Oidiodendron*, *Curvularia*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Verticillium*, *Bispora*, *Sepedonium* (del grupo parecido a *Verticillium*), *Thielaviopsis*, *Paecilomyces* y *Nigrospora*, los que más se observaron fueron *Penicillium* y *Trichoderma*

El mayor promedio de colonias de hongos sobre el filoplano, se presentó en la plantación convencional, siendo el estrato superior el que mostró el promedio más alto con 79.0 colonias y 44.6 colonias en el estrato inferior, para un promedio total de 61.8 colonias de hongos por muestra. En la plantación orgánica el estrato que presentó mayor cantidad de colonias de hongos fue el inferior, con un promedio de 44.3 colonias y 24.0 colonias en el estrato superior (cuadro 11).

En ambos cafetales los promedios en número de colonias de hongos más altos, se observaron entre el mes de mayo, para luego decrecer hasta niveles en los cuales la curva volvió a tomar su tendencia inicial (figura 26). Estos aumentos en el número de colonias, coincidieron con el momento en el cual el volumen de las precipitaciones fue mayor (ver acápite 4.1.2) y con las cuales se encontraron correlaciones ($r = 0.5852$; $r^2 = 0.3425$; $p = 0.1275$) en el estrato inferior y ($r = 0.8588$; $r^2 = 0.7376$; $p = 0.0063$) en el estrato superior del sistema convencional y correlaciones ($r = 0.8777$; $r^2 = 0.7704$; $p = 0.0042$) en el estrato inferior y ($r = 0.8667$; $r^2 = 0.7511$; $p = 0.0053$) en el estrato superior del sistema orgánico.

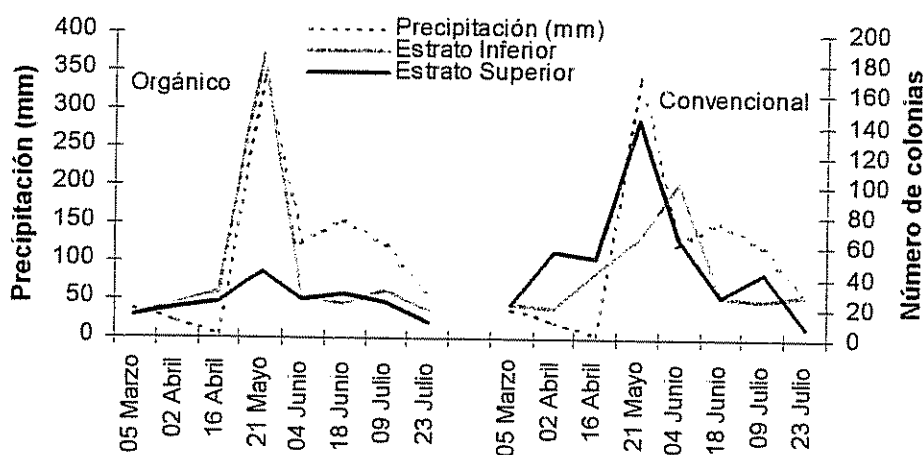


Figura 26. Comportamiento del número de colonias de hongos sobre el filoplano de los cafetos y su relación con la precipitación en una finca convencional y otra orgánica. Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.

También se encontraron correlaciones fuertes entre el número de colonias de hongos y la humedad relativa media ($r=0.9466$; $r^2= 0.8961$; $p= 0.0398$) en el estrato superior convencional y entre la humedad relativa media y el número de colonias de hongos ($r= 0.9555$; $r^2= 0.9130$; $p= 0.0353$) en el estrato inferior de los cafetos en el sistema orgánico (cuadro 12).

Cuadro 12. Correlaciones entre la humedad relativa y el número de colonias de hongos sobre el filoplano de los cafetos de una finca convencional y otra orgánica Paraíso, Cartago, Costa Rica 2002

Sistema	Estrato	CV	R	R ²	Valor de t	Pr > t
Orgánico	Inferior	67.31	0.8777	0.7703	4.49	0.0042
	Superior	21.74	0.8667	0.7511	4.25	0.0054
Convencional	Inferior	63.21	0.5854	0.3426	1.77	0.1274
	Superior	78.40	0.8588	0.7376	4.11	0.0063

Los análisis estadísticos también mostraron fuertes correlaciones entre el número de colonias de hongos y enfermedades como el ojo de gallo en el estrato superior e inferior ($r = 0.9255$; $r^2 = 0.8565$; $p = 0.0028$ y $r = 0.8623$; $r^2 = 0.7436$; $p = 0.1187$ respectivamente) en el sistema convencional. Así como también fuertes correlaciones entre el ojo de gallo en el estrato superior e inferior y el número de colonias de hongos ($r = 0.9943$; $r^2 = 0.9886$; $p = 0.0033$ y $r = 0.9988$; $r^2 = 0.9976$; $p = 0.1133$) en el sistema orgánico

4.5.2 Géneros y comportamiento de las colonias de bacterias aisladas del filoplano de los cafetos.

Los géneros de bacterias aisladas del filoplano de los cafetos fueron: *Pseudomonas* (*fluorescens* y otras especies), *Xanthomonas*, *Bacillus*, *Erwinia*, levaduras y un grupo de bacterias coryneformes. Los géneros más abundantes en ambos sistemas fueron: *Pseudomonas*, *Bacillus* y levaduras, y una menor abundancia de *Xanthomonas* y coryneformes.

El grupo de bacterias predominante en cada uno de los sistemas y estratos, fue el constituido por colonias blancas (*Pseudomonas*, *Bacillus*, levaduras y *Erwinia*). A este grupo perteneció más del 70% de las colonias que crecieron en cada plato pétri. Los porcentajes más altos de colonias blancas, se obtuvieron de los estratos superiores de los cafetos. Las colonias amarillas, constituyeron aproximadamente un 20% del total de colonias en los platos pétris, encontrándose los promedios más altos en el estrato inferior de los cafetos en ambos sistemas. Las colonias color café y rosa se presentaron en menor escala en ambos cafetales. Los mayores porcentajes se presentaron en el estrato superior para las colonias café e inferior para las color rosa (cuadro 13)

Los análisis estadísticos no mostraron diferencias entre los porcentajes promedios de colonias y los sistemas convencional y orgánico. No obstante se encontraron correlaciones moderadas entre las

colonias de bacterias y la humedad relativa mínima en los estratos inferior ($r = 0.64$; $r^2 = 0.4096$; $p = 0.0634$) y superior ($r = 0.6071$; $r^2 = 0.3686$; $p = 0.0829$) del sistema convencional y correlación entre las colonias de bacterias y la humedad relativa mínima ($r = 0.5326$; $r^2 = 0.2837$; $p = 0.1398$) en el estrato superior de la plantación orgánica.

Cuadro 13. Número de colonias y porcentajes en cada uno de los grupos de bacterias aislados del filoplano de los cafetos de una finca orgánica y otra convencional Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.

Sistema	Estrato de la planta	Colonias totales	Grupo de bacterias							
			Blancas		Amarillas		Café		Rosa	
			N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Convencional	Superior	244.6	178.8	73.1	36.4	14.9	24.5	10.0	4.9	2.0
	Inferior	274.4	194.5	70.9	70.5	25.7	3.6	1.3	5.8	2.1
	Promedio	259.5	186.7	72.0	53.5	20.3	14.0	5.7	5.3	2.0
Orgánico	Superior	306.3	233.4	76.2	66.2	21.6	2.4	0.8	4.3	1.4
	Inferior	351.6	258.8	73.6	79.1	22.5	0.0	0.0	13.7	3.9
	Promedio	329.0	246.1	74.9	72.7	22.0	1.2	0.4	9.0	2.7

N°: Número de colonias presentes por grupo

Blancas: *Pseudomonas* (incluye *Pseudomonas fluorescens*), *Bacillus*, *Erwinia*, y levaduras

Amarillas: *Xanthomonas* y *Pseudomonas fluorescens*

Café: coryneformes

Rosa: Desconocidas (Bacterias bacilares, resistentes a temperatura de 84°C, *Bacillus spp*)

El sistema orgánico fue el que presentó el promedio más alto en número de colonias aisladas de los estratos, encontrándose un promedio de 306.3 colonias en el estrato superior y 351.6 colonias en el estrato inferior, para un promedio general de 329.0 colonias de bacterias por muestra en el sistema, comparado a 244.6 y 274.4 colonias en los estratos superior e inferior respectivamente, y promedio general de 259.5 colonias en el sistema convencional. Por otro lado el número promedio de colonias de bacterias fue más alto en los estratos inferiores de cada uno de los sistemas (cuadro 13).

Los promedios más altos en el número de colonias, se obtuvieron durante el muestreo del 09 de julio, después de los periodos mayores de lluvia, contabilizándose 1384 y 1819 colonias de bacterias en los estratos superior e inferior del sistema convencional respectivamente y 1169 y 1011 colonias en los estratos superior e inferior del sistema orgánico respectivamente (figura 27). Hirano (1994), explica que el crecimiento de la población de bacterias, principalmente del género

Pseudomonas se ve favorecido una vez que se han presentado intensas lluvias, pero no responden igual con volúmenes equivalentes de agua durante periodos de lluvias ligeras.

Los análisis estadísticos no encontraron correlación entre el número de colonias y el factor precipitación, esto explica el aumento del número de colonias de bacterias en los estratos del cafetal orgánico y disminución en los estratos del sistema convencional, en el periodo de mayor precipitación (figura 27). Una de las explicaciones a este fenómeno es la presencia de sombra en el sistema orgánico, lo que evita el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el filoplano y disminuye el lavado de los propágulos depuestos sobre esta superficie, manteniendo un nivel de inóculo suficiente, que le permite continuar el crecimiento de las colonias.

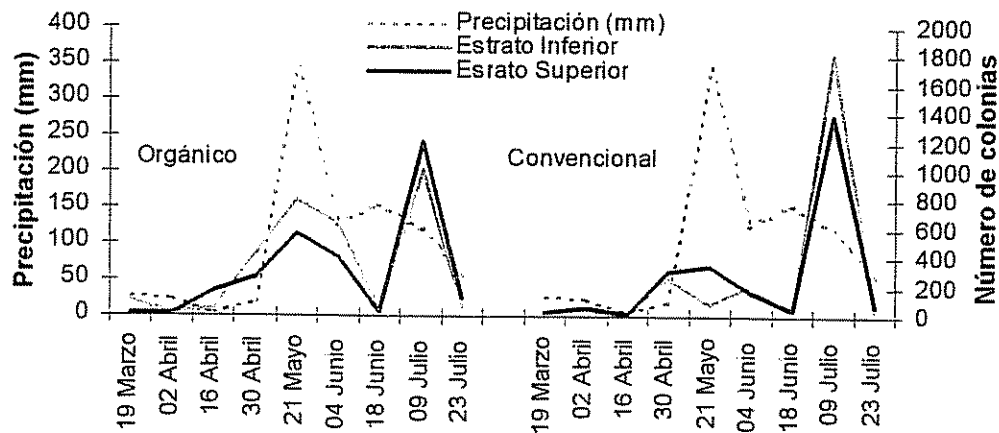


Figura 27. Comportamiento del número de colonias de bacterias sobre el filoplano de los cafetos en una finca convencional y otra orgánica. Paraíso, Cartago, Costa Rica. 2002.

Se encontró fuerte correlaciones entre el número de colonias de bacterias y enfermedades como el ojo de gallo en el estrato inferior ($r = -0.7016$; $r^2 = 0.4922$; $p = 0.0790$) en el sistema convencional y en el estrato inferior del sistema orgánico ($r = -0.60256$; $r^2 = 0.3631$; $p = 0.0859$). Así como también fuertes correlaciones entre la roya en el estrato superior y el número de colonias de bacterias ($r = 0.6465$; $r^2 = 0.4180$; $p = 0.1166$) en el sistema orgánico.

4.6 Población de nematodos en las raíces y en el suelo de los cafetales convencional y orgánico

Los géneros de nematodos fitoparásitos encontrados en las raíces y suelo de los cafetales estudiados, correspondieron a *Meloidogyne*, *Heterodera* (Mulvey y Morgan, 1983), *Pratylenchus* (Morgan; López y Vilchez, 1992), *Helicotylenchus* (Sher, 1966), *Hoplolaimus* (Dasgupta; Nand y

Seshadri, 1970). *Tylenchus* (Sasser y Jenkins, 1960), *Rotylenchus* (Sher, 1965), *Rotylenchulus*, *Radopholus* y *Criconemoides* (Sasser y Jenkins, 1960; Raski y Golden, 1965) En Costa Rica, los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, han sido encontrados con mayor frecuencia en investigaciones anteriores, siendo *Meloidogyne* el género predominante (Araya-Vargas, 1990; Araya, 1994). Los géneros de nematodos de vida libre que lograron ser identificados, corresponden a *Isolaimus* (Timm, 1969), *Anatonchus* (Mulvey, 1961), *Mylonchulus* (Baqri y Jairajpuri, 1973), *Paraphanolaimus* o *Aphanoncus* que es una fase intermedia entre *Paraphanolaimus* y *Anonchus* (Coomans y Rasky, 1991). Todos ellos reportados como depredadores y de los cuales *Paraphanolaimus* es el más frecuente

4.6.1 Nematodos en la raíz de los cafetos.

Los principales géneros fitoparásitos aislados de las raíces de los cafetos fueron *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Hoplolaimus* y *Tylenchus*, de estos las poblaciones más altas pertenecieron a los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, siendo *Meloidogyne* quién mostró la mayor población a lo largo del estudio (figura 28)

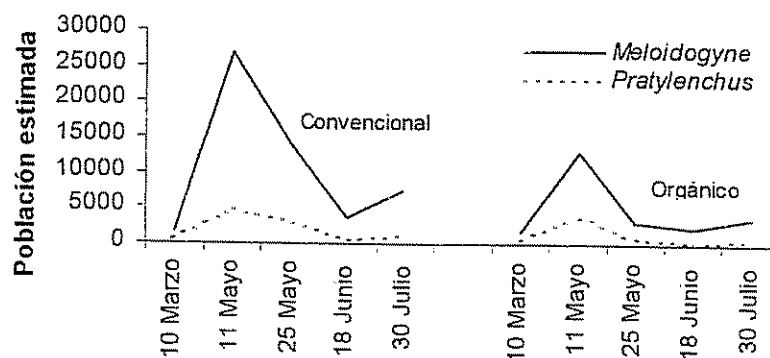


Figura 28 Comportamiento de las poblaciones de *Meloidogyne spp* y *Pratylenchus spp* en las raíces de los cafetos de una finca convencional y otra orgánica Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.

Nótese que el patrón de las curvas es similar en ambas plantaciones Sin embargo, los valores alcanzados por cada una de las poblaciones de nematodos dentro de los sistemas, son diferentes (figura 28).

La población de nematodos fitoparásitos de los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Hoplolaimus* y *Tylenchus* fue significativamente más alta en la plantación convencional (10 753,8, 2 053,6, 164,4, 71,2 y 99,0 individuos/5gr de raíz, respectivamente) que

en la orgánica (4.761,4; 1.306,4, 137,0, 15,0 y 0 nematodos/5gr de raíz, respectivamente). Mientras que el grupo de géneros como *Rotylenchus*, *Rotylenchulus*, *Radopholus* y *Criconemoides* fueron superior en el cafetal orgánico. El género *Tylenchus* no se observó en las raíces de las plantas de cafetos bajo manejo orgánico y *Hoplolaimus* se presentó solamente durante un muestreo en la finca orgánica (cuadro 14). Araya (1994) sugiere que por el hecho de que los nematodos son microorganismos poikilotérmicos, las temperaturas altas les favorecen para su reproducción, lo que podría explicar en parte el comportamiento de las mayores poblaciones en cafetales a pleno sol. La población obtenida en 5gr de raíz, demostró la presencia de altas infestaciones de fitonematodos en ambas plantaciones, sobrepasando el umbral de acción de 20.000 nematodos/100gr de raíz para el género *Meloidogyne* y 10.000 nematodos/100gr de raíz para el género *Pratylenchus*, sugerido por Araya (1994) como indicadores utilizados para decidir sobre aplicaciones de nematicidas en el cultivo.

El comportamiento poblacional mostrado por los fitonematodos en café, se asemeja al observado por Monterroso (1999) en Nicaragua, al comparar las poblaciones de nematodos en cafetales con manejo convencional y sombra menor de 10% y cafetales con sombra entre el 60% a más, igual que Samayoa (1999) quien comparó las poblaciones de un cafetal convencional con poca sombra (0%-30%) y otro orgánico con niveles de sombra entre los 35% a 60%, observándose la predominancia de los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, siendo *Meloidogyne* el más abundante.

Según Rojas (1983); Araya-Vargas (1990); Araya (1994) El hecho de que las densidades poblacionales de *Pratylenchus spp.* sean menores que las de *Meloidogyne spp.* se debe al efecto de una alternancia en la predominancia entre los dos géneros, de tal manera que una mayor presencia de *Meloidogyne*, induce a bajas densidades de *Pratylenchus*. Estos autores lo explican por el hecho de que ambos géneros son endoparásitos (uno sedentario y el otro migratorio) y compiten por sitios de alimentación a lo largo del rizoplano, al final uno de estos géneros sale perjudicado.

Araya (1994), explica que en condiciones tropicales, las poblaciones de nematodos resultan ser altas y más severas por la ausencia de cambios climáticos, que motiven la reducción de sus poblaciones. Además en cultivos perennes como el café, se logra desarrollar un ambiente muy estable en suelo, lo que favorece la multiplicación de los nematodos, hasta alcanzar densidades peligrosas para el cultivo. No obstante Araya-Vargas (1990), sugiere que en variedades con sistema radicular muy abundante como caturra, el impacto del ataque de nematodos, se ve reducido o absorbido por la biomasa radical.

Las altas infestaciones que se presentan en el cuadro 14, podrían representar un riesgo futuro si no se realizan actividades para su manejo. Según Araya (1994) en áreas donde las poblaciones se presentan sobre los 150 000 nematodos/100gr de raíz, se pone en duda el éxito del cultivo, Kumar (1988) considera que bajo estas condiciones se pueden esperar disminución en la producción, baja respuesta a la fertilización, proliferación de hijos raquíuticos posterior a la poda, aumento en la presencia de granos vanos, reducción en el tamaño de los granos y mayor susceptibilidad de las plantas al ataque de otros patógenos, principalmente hongos como *Fusarium Oxysporum* que provoca la marchitez lenta del café (Guharay; *et al.* 2000; Monterroso, 1999) Por lo tanto, la alternativa a esta situación podría ser el uso de resistencia genética a través de la injertación de cultivares comerciales como caturra o catuai, generalmente susceptibles a nematodos, sobre patrones de robusta con buen desarrollo radical (Araya-Vargas, 1990)

La población de nematodos de vida libre en la raíz, fue mayor en el cafetal convencional (639,2 nematodos/5gr de raíz), en comparación con el orgánico que presentó una población de 372,6 individuos/5gr de raíz (figura 28) Además, fue mayor en proporción con respecto a las poblaciones de *Helicotylenchus*, *Hoplolaimus*, *Tylenchus*, *Rotylenchus*, *Rorylenchulus*, *Radopholus* *Criconemoides* e inclusive a la sumatoria de las mismas

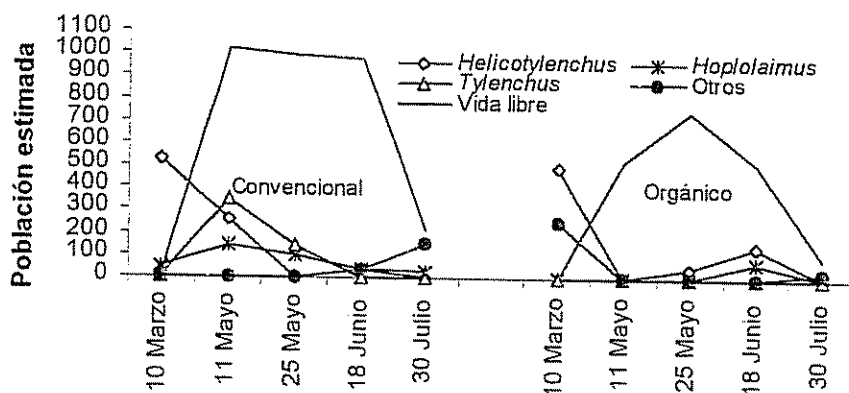


Figura 29 Comparación entre las poblaciones de nematodos fitopatógenos secundarios y nematodos de vida libre en las raíces de los cafetos del sistema convencional y orgánico. Paraiso, Cartago, Costa Rica. 2002

Los análisis estadísticos, no mostraron correlación entre la población de nematodos de vida libre y los géneros de patógenos. No obstante se puede observar cierta tendencia decreciente en la población de fitonemátodos, cuando las poblaciones de los géneros de vida libre aumentan y viceversa. Esta tendencia es más clara en el cafetal orgánico que en el convencional (figura 29)

Cuadro 14. Géneros y población de nematodos por 5gr de raíz, en la finca convencional y orgánica. Paraiso, Cartago, Costa Rica. 2002

Fecha de muestreo	Fitopatógenos totales		<i>Meloidogyne</i>		<i>Pratylenchus</i>		<i>Helicotylenchus</i>		<i>Hoplolaimus</i>		<i>Tylenchus</i>		Otros		Vida libre	
	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv
10 Marzo	3015	2785	1586	1585	691	627	491	527	0	46	0	0	247	0	0	0
11 Mayo	17060	32573	12974	26916	4086	4911	0	255	0	140	0	351	0	0	520	1017
25 Mayo	3826	17255	3251	13930	861	3081	49	0	0	100	0	144	0	0	739	995
18 Junio	2760	4378	2185	3629	355	629	145	40	75	40	0	0	0	0	40	514
30 Julio	4380	8908	3811	7709	539	1020	0	0	0	30	0	0	30	149	90	212
Media	6208.2	13179.8	4761.4	10753.8	1306.4	2053.6	137.0	164.4	15.0	71.2	0	99.0	55.4	37.8	372.6	639.2

Org = Cafetal orgánico Conv = Cafetal convencional Otros = *Rotylenchus*, *Rotylenchulus*, *Radopholus* y *Criconeimoides*

Cuadro 15. Géneros y población de nematodos por 100gr de suelo en la finca convencional y orgánica. Paraiso, Cartago, Costa Rica. 2002.

Fecha de muestreo	Fitopatógenos totales		<i>Meloidogyne</i>		<i>Pratylenchus</i>		<i>Helicotylenchus</i>		<i>Hoplolaimus</i>		<i>Tylenchus</i>		Otros		Vida libre	
	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv	Org	Conv
10 Marzo	1119	973	128	88	527	440	418	412	46	33	0	0	0	0	777	691
11 Mayo	747	1227	42	125	380	514	21	82	20	84	284	380	0	42	753	1666
25 Mayo	860	346	0	0	450	223	140	37	129	17	103	69	38	0	830	576
18 Junio	570	755	60	0	90	365	30	0	60	150	180	150	90	1230	1075	
30 Julio	700	700	0	50	275	125	175	25	50	0	75	300	125	200	726	775
Media	799.2	800.2	46.0	52.6	344.4	333.4	156.8	111.2	61.0	56.8	128.4	179.8	62.6	66.4	863.2	956.6

Org = Cafetal orgánico Conv = Cafetal convencional Otros = *Rotylenchus*, *Rotylenchulus*, *Radopholus* y *Criconeimoride*

4.6.2 Nematodos en el suelo

Los principales géneros fitoparásitos aislados del suelo fueron *Pratylenchus*, *Tylenchus* y *Helicorylenchus*, de estos la población más alta correspondió al género *Pratylenchus* a lo largo del estudio, observándose valores promedios de 344,4 y 333,4 nematodos/100g de suelo en la finca orgánica y convencional respectivamente. La población de nematodos fitoparásitos de los géneros *Pratylenchus*, *Meloidogyne*, *Hoplolaimus* y el grupo de *Rotylenchus*, *Rotylenchulus*, *Radopholus* y *Criconemoides* (otros) a pesar de mostrar diferencias numéricas entre ellos, sus valores fueron similares en ambas fincas. El género *Tylenchus* presentó una población promedio mayor en el cafetal convencional (179,8 individuos/100g de suelo) en comparación a la presentada por el cafetal orgánico (128,4 nematodos/100g de suelo). *Helicorylenchus* presentó valores mayores en la finca orgánica que en la convencional. A pesar de esto, los valores poblacionales de estos géneros en el suelo fueron relativamente bajos (cuadro 15)

La relación en las curvas de cada uno de los géneros, muestra que los géneros *Pratylenchus*, *Tylenchus* y *Helicorylenchus* no poseen relación poblacional inversa entre sí (figura 30), Tal como lo señalan Rojas (1983); Araya-Vargas (1990); Araya (1994), refiriéndose a la alternancia de la predominancia poblacional entre *Meloidogyne* y *Pratylenchus*

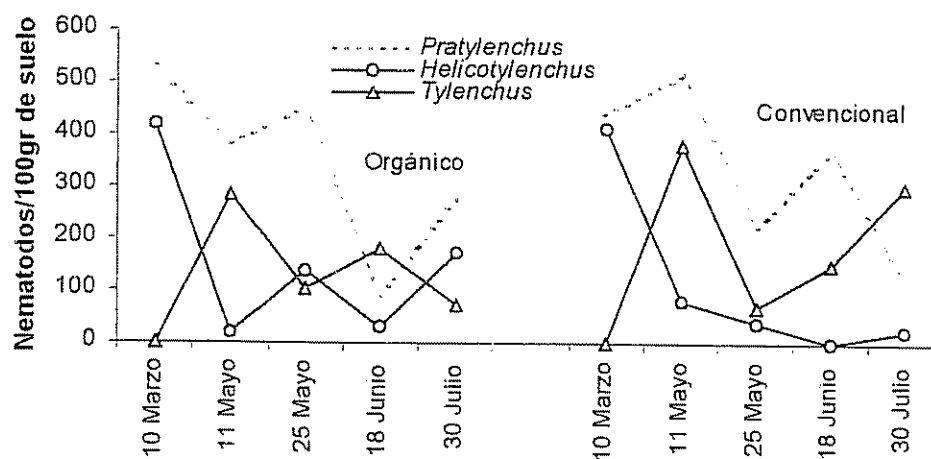


Figura 30. Comportamiento de las poblaciones de *Pratylenchus*, *Helicorylenchus* y *Tylenchus* en el suelo de la finca orgánica y convencional Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002

El género *Pratylenchus* en el suelo, fue quien presentó mayor población comparado a *Meloidogyne* (figura 31), contrario a lo observado en las poblaciones sobre el rizoplano

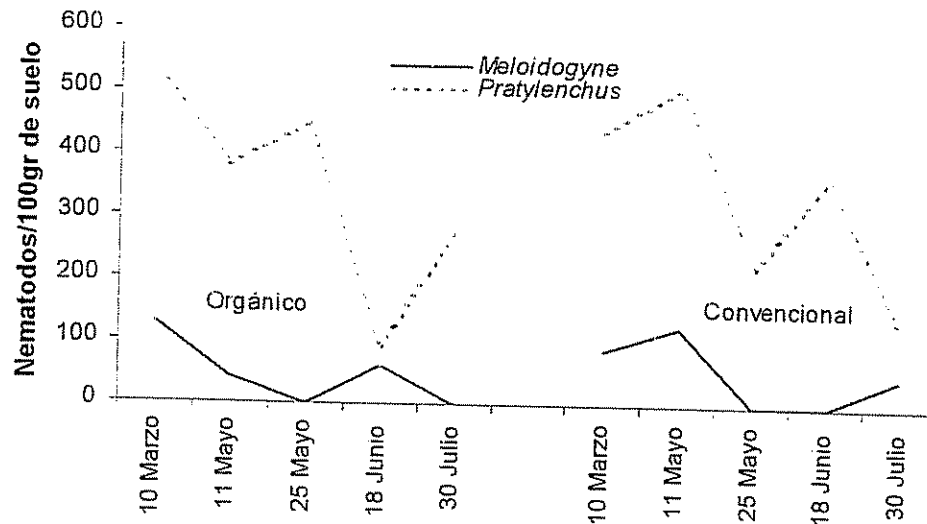


Figura 31. Comportamiento de las poblaciones de *Meloidogyne* y *Pratylenchus* en los suelos de las fincas orgánica y convencional Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.

Estos resultados sugieren que las poblaciones de *Pratylenchus* permanecen por mayor tiempo en el suelo debido a su característica migratoria. Mientras que *Meloidogyne* por ser endoparásito sedentario está obligado a permanecer en el suelo por un corto periodo de tiempo, principalmente durante las primeras tres etapas de su vida (J1-J3), según lo explican Agrios (1988); Guharay, et al (2000)

A pesar de que las poblaciones de nematodos en el suelo, no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas orgánico y convencional, si se presentaron diferencias estadísticas entre las fechas de muestreo en cada uno de los sistemas ($r = 0.8564$, $r^2 = 0.7334$, $p = 0.013$). Los valores poblaciones más altos, se obtuvieron entre mayo y mediados de junio. Se observó una disminución a partir de la segunda mitad de mayo en la plantación convencional, cuando se presentaron las mayores precipitaciones. Esta respuesta a la lluvia no quedó clara en el cafetal orgánico (figura 32)

En el suelo la población de nematodos de vida libre fue superior a la de fitonematodos en ambas plantaciones. El cafetal convencional presentó el promedio más alto con 956,6 nematodos/100g de suelo comparado a 863,2 nematodos que presentó el suelo del cafetal orgánico (cuadro 14). A pesar de haberse observado diferencias entre las poblaciones totales de nematodos fitopatógenos en las fincas, la figura 32 muestra que el comportamiento de las poblaciones de fitonematodos y nematodos de vida libre fue diferente en los dos sistemas de manejo. Se encontró correlación

inversa ($r = -0.7132$, $p = 0.0492$) entre ambos grupos de nematodos en el cafetal orgánico y correlación ($r = 0.8516$, $p = 0.0356$) entre los nematodos fitopatógenos y de vida libre en el cafetal convencional.

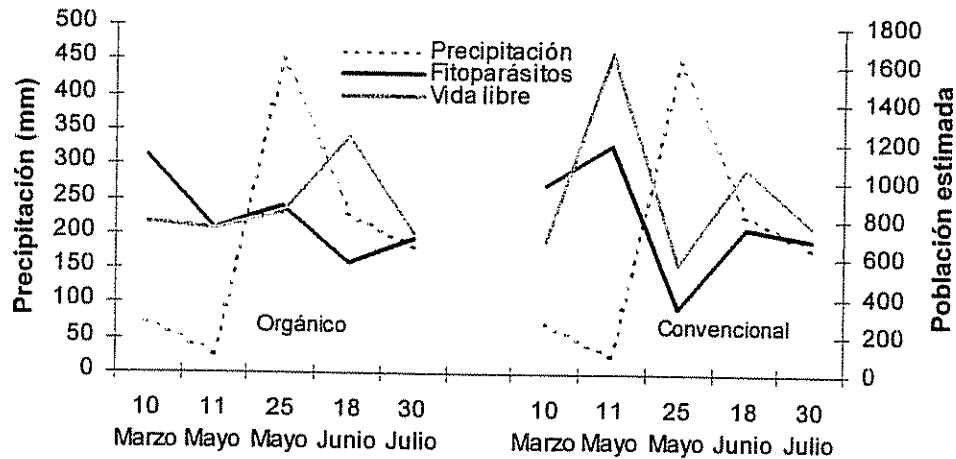


Figura 32. Comparación entre la población de nematodos fitoparásitos y vida libre y su relación con la precipitación, en la finca convencional y orgánica. Paraíso, Costa Rica. 2002.

En la figura 32, se puede observar que en el sistema orgánico a medida la población de nematodos de vida libre se encuentra en los puntos más altos, la población de fitoparásitos en el suelo tiende a decrecer y viceversa. Por otro lado las poblaciones de nematodos de vida libre en la plantación convencional exhiben el mismo patrón de comportamiento que la curva de fitoparásitos. Esto puede constituir la respuesta de la población depredadora en función del crecimiento de las poblaciones de nematodos presas.

Los análisis estadísticos demostraron que existieron correlaciones moderadas entre los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* y *Tylenchus* y la humedad del suelo (cuadro 16); y correlaciones entre *Hoplolaimus*, *Tylenchus*, *Helicotylenchus* y vida libre con el pH en ambos sistemas de cultivo (cuadro 17). Estas correlaciones demuestran que estos factores juegan un papel importante en el comportamiento de las poblaciones de nematodos en el suelo. Por lo tanto, la regulación del pH en el suelo de los cafetales puede ser de gran utilidad en el manejo de sus poblaciones.

Cuadro 16. Correlaciones entre la humedad del suelo y géneros de nematodos, en una finca orgánica y otra convencional Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.

Sistema	Nematodo	Coefficiente de correlación	R ²	Probabilidad
Convencional	<i>Meloidogyne</i>	- 0.63777	0.4068	0.0646
	<i>Pratylenchus</i>	- 0.76114	0.5793	0.0172
	<i>Helicotylenchus</i>	0.6885	0.4745	0.0402
	<i>Tylenchus</i>	- 0.5440	0.2964	0.1297
Orgánico	<i>Meloidogyne</i>	- 0.56507	0.3193	0.1129
	<i>Pratylenchus</i>	- 0.53369	0.2848	0.1389
	<i>Helicotylenchus</i>	0.71145	0.5105	0.0316
	<i>Tylenchus</i>	- 0.67096	0.4502	0.0479

Cuadro 17. Correlaciones entre el pH del suelo y géneros de nematodos, en una finca orgánica y otra convencional Paraiso, Cartago, Costa Rica 2002.

Sistema	Nematodo	Coefficiente de correlación	R ²	Probabilidad
Convencional	<i>Hoplolaimus</i>	- 0.6227	0.3878	0.0659
	<i>Tylenchus</i>	- 0.5534	0.3062	0.0327
	<i>Helicotylenchus</i>	0.51075	0.2609	0.0517
	Vida libre	- 0.4718	0.2226	0.0758
Orgánico	<i>Hoplolaimus</i>	- 0.6381	0.4072	0.1466
	<i>Tylenchus</i>	- 0.5992	0.3590	0.1253
	<i>Helicotylenchus</i>	0.59420	0.3531	0.0195
	Vida libre	- 0.65271	0.4260	0.0083

En este estudio, se encontraron correlaciones entre los elementos nutritivos del suelo como magnesio, potasio, calcio, fósforo y materia orgánica y algunos géneros de nematodos (cuadro 18). Nótese que los géneros que más se correlacionaron a elementos del suelo, fueron *Helicotylenchus* en el sistema convencional y *Hoplolaimus* en el orgánico.

El calcio, pareció ser el elemento que más afectó las poblaciones de nematodos, esto refuerza los resultados obtenidos entre la acidez del suelo y la población de nematodos. Sin embargo no quedan claras en este trabajo las posibles interacciones que se presentan entre las concentraciones de los elementos nutritivos en el suelo y la dinámica de las poblaciones de nematodos. No obstante, la correlación positiva entre elementos como potasio, calcio y fósforo y los géneros de nematodos, probablemente se deba a su acción como activadores de los sistemas enzimáticos de las plantas, promotores de la división celular en los meristemos y el crecimiento radicular (Bertsch, 1995; Valencia, 1998), entonces esa disponibilidad de tejido, puede estimular una mayor población de nematodos en las zonas radicales.

Cuadro 18. Correlaciones entre elementos del suelo y géneros de nematodos en una finca orgánica y otra convencional. Paraíso, Cartago, Costa Rica 2002

Sistema	Correlación	Coefficiente de correlación	R ²	Probabilidad
Orgánico	<i>Helicotylenchus</i> * Magnesio	0.69961	0.4895	0.0037
	<i>Helicotylenchus</i> * Potasio	0.67081	0.4500	0.0062
	<i>Helicotylenchus</i> * Calcio	-0.59929	0.3592	0.0182
	<i>Helicotylenchus</i> * Materia orgánica	0.63079	0.3979	0.0117
	<i>Meloidogyne</i> * Potasio	0.6751	0.4558	0.0057
	<i>Hoplolaimus</i> * Calcio	-0.53688	0.2882	0.0391
	<i>Tylenchus</i> * Fósforo	-0.4625	0.2139	0.0826
Convencional	Vida libre * Calcio	-0.61615	0.3801	0.0144
	<i>Hoplolaimus</i> * Materia orgánica	0.7115	0.5063	0.1325
	<i>Hoplolaimus</i> * Fósforo	0.7097	0.5037	0.0149
	<i>Tylenchus</i> * Magnesio	0.6999	0.4898	0.0598
	Vida libre * Calcio	0.6518	0.4249	0.0624

5 CONCLUSIONES

La incidencia de *Hemileia vastatrix* y *Cercospora coffeicola* fue mayor en el cafetal convencional y *Mycena citricolor* fue mayor en el cafetal orgánico

El estrato superior de los cafetos fue el más afectado por *C. coffeicola*. La incidencia de *M. citricolor*, *H. vastatrix*, *Colletotrichum spp* y *Phoma costarricensis* no presentaron diferencia en la incidencia dentro de los estratos de las plantas

Los grupos de microorganismos encontrados en este estudio fueron: algas, hongos, levaduras, bacterias y mohos mucilaginosos. Los géneros de hongos más abundantes en el sistema convencional fueron *Fusarium* y *Geotrichum* y en el sistema orgánico *Rhizopus* y *Fusarium*. El promedio de colonias de hongos sobre el filoplano fue mayor en la plantación convencional, en el estrato superior de los cafetos y en el estrato inferior en el sistema orgánico.

Los géneros de bacterias predominantes en los estratos de los sistemas convencional y orgánico fueron *Pseudomonas*, *Bacillus*, levaduras y *Erwinia*. El mayor número de colonias de este grupo se presentó en el estrato superior de los cafetos y en el estrato inferior se presentó el mayor número de colonias de *Xanthomonas*.

Tanto en el sistema orgánico como el convencional, se encontraron géneros de importancia para el control biológico, como: *Trichoderma*, *Paecilomyces*, *Verticillium*, *Penicillium*, *Pseudomonas* y *Bacillus*.

La población de nematodos fitopatógenos en la raíz de los cafetos fue mayor en el sistema convencional. *Meloidogyne* y *Pratylenchus* fueron los géneros predominantes. El género *Tylenchus* no se observó en raíces del cafetal orgánico. *Hoplolaimus*, solo se encontró en un muestreo, durante el estudio.

Los géneros predominantes en el suelo fueron *Pratylenchus*, *Tylenchus* y *Helicotylenchus*. El género que presentó la mayor población fue *Pratylenchus*. No se observó diferencias entre las poblaciones de fitoparásitos y los sistemas de manejo.

La precipitación, humedad relativa y temperatura mostraron correlaciones con el desarrollo de la roya y mancha de hierro en los sistemas convencional y orgánico. El desarrollo de ojo de gallo solamente mostró correlación con la temperatura media

Se encontraron fuertes correlaciones entre la precipitación y humedad relativa media y el número de colonias de hongos y correlaciones entre el número de colonias de bacterias y la humedad relativa en los estratos de los cafetos del sistema convencional y orgánico.

Se encontraron correlaciones moderadas entre los géneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Tylenchus* y la humedad del suelo y correlaciones entre los géneros *Hoplolaimus*, *Helicotylenchus* y nematodos de vida libre con el pH en ambos sistemas

Las concentraciones de elementos como: calcio, potasio, fósforo y materia orgánica, mostraron correlaciones con las poblaciones de géneros de nematodos. El calcio, fue el elemento que más se correlacionó con las poblaciones de nematodos

Se encontraron fuertes correlaciones entre el número de colonias de bacterias y hongos y el desarrollo del ojo de gallo en el sistema convencional y orgánico y fuertes correlaciones entre el desarrollo de roya y el número de colonias de bacterias en el sistema orgánico

La población de nematodos de vida libre encontrados en las raíces, fue mayor en el cafetal convencional. Sin embargo no se encontró correlación entre las poblaciones de fitonematodos en las raíces y las poblaciones de nematodos de vida libre

La población de nematodos de vida libre en el suelo fue superior a la de fitonematodos en ambas plantaciones. Las poblaciones más altas se presentaron en el sistema convencional. Se encontraron correlaciones entre las poblaciones de fitonematodos y nematodos de vida libre en los suelos de ambos sistemas de manejo

El no estar utilizando nematicidas en el cafetal convencional puede estar influyendo en el crecimiento de la población de nematodos no parasíticos en el suelo.

Los factores meteorológicos como la temperatura y humedad relativa dentro de la plantación, fueron similares en ambos cafetales. La temperatura fue mayor entre las hileras de las plantas que dentro del follaje. La humedad relativa fue mayor dentro del follaje que entre hileras de cafetos. En ambos casos la diferencia entre hileras y dentro de la planta fue menor en el sistema orgánico.

La temperatura del suelo fue mayor entre hileras de cafetos que dentro de la zona de goteo de las plantas. La menor oscilación entre hileras y dentro de la zona de goteo de los cafetos se presentó en el sistema orgánico.

Las características químicas del suelo mostraron diferencias entre los sistemas orgánico y convencional. La acidez del suelo fue más alta en el cafetal convencional, por lo que la disponibilidad de calcio y magnesio fue menor. Elementos como manganeso y hierro se encontraron en niveles altos; cobre, zinc y fósforo fueron encontrados en niveles medios en los suelos de ambas plantaciones. Los elementos limitantes fueron: el magnesio en el sistema convencional y el potasio en el sistema orgánico.

El promedio en número de hojas por ramas plagiotrópicas (bandolas) de los cafetos fue mayor en el sistema orgánico, con promedios más altos en los estratos inferiores de las plantas.

6 RECOMENDACIONES

Continuar la investigación por un periodo mayor de tiempo, para observar el comportamiento de las poblaciones de microorganismos en el filoplano y rizoplano de los cafetos.

Repetir este estudio bajo diferentes condiciones como suelo, altura, temperatura, humedad relativa, precipitación y manejo, para determinar con más certeza la relación entre los microorganismos en el filoplano y rizoplano y el desarrollo de las enfermedades.

Realizar pruebas de micoparasitismo entre microorganismos como *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus spp*, *Trichoderma spp*, *Fusarium spp*, *Paecylomyces spp* y *Penicillium spp*, encontrados en los sistemas orgánico y convencional y patógenos como *Hemileia vastatrix* y *Mycena citricolor*.

Estudiar más a fondo los factores que estén incidiendo sobre la menor población de nematodos fitopatógenos en el cafetal orgánico, entre ellos temperatura del suelo, flora predominante, especies depredadoras, niveles de materia orgánica, pH.

Evaluar prácticas alternativas que permitan el crecimiento de las poblaciones de nematodos de vida libre para el manejo de las enfermedades ocasionadas por el ataque de nematodos fitopatógenos. Estas pueden incluir aplicación de diferentes fuentes de materia orgánica, regulación del pH, inoculación de antagonistas como *Trichoderma* o *Fusarium oxisporum*, entre otras.

Realizar un estudio exploratorio del suelo, buscando microorganismos parásitos nativos que ataquen los principales géneros de nematodos fitoparásitos de este cultivo.

7 BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Agros, G. 1988. Plant pathology. New York, Academic Press p 703-746
- Andrews, JH. 1992. Biological control in the Phyllosphere. Annual Review of Phytopathology 30:603-635.
- Anthony, F; Bertrand, B; Etienne, H. 1997. Evaluación y selección de germoplasma para la resistencia a los principales nematodos en Centro América. Informe técnico final CIRAD pirt.
- Araya-Vargas, M. 1990. Frecuencia y densidades poblacionales de *Meloidogyne spp* y *Pratylenchus spp* en cafetales del cantón de Turrialba, Cartago. Agronomía Costarricense 14(1): 109-114.
- Araya, M. 1994. Distribución y niveles poblacionales de *Meloidogyne spp* en ocho cantones productores de café en Costa Rica. Agronomía Costarricense 18(2): 183-187
- Asociación Cafetalera de El Salvador 2000. Monografía del café: Dos siglos de historia en la caficultura Salvadoreña. ed M Miranda. San Salvador, El Salvador 136 p
- Avelino, J; Muller, R; Eskes, A; Santacreo, R; Holguin, F. 1999. La Roya anaranjada del café: Mito y realidad. In Desafíos de la caficultura en Centroamérica eds B Bertrand; B Rapidel. San José, Costa Rica, IICA, PROMECAFE, CIRAD: IRD: CCCR. p. 193-241.
- Baqri, SZ; Jairajpuri, MS. 1973. Studies on Mononchida: The *Mononchus* of El Salvador with descriptions of two new genera, *Actus* and *paracrassibucca*. Nematologica 19:326-333
- Barradas, V; Fanjul, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-growth coffee (*Coffea arabica* L) plantations in México. Agricultural and Forest Meteorology 38:101-112
- Barker, KR. 1987. Métodos para muestrear nematodos del suelo y procedimientos para diagnósticos de campo. In Fitonematología: Manual de laboratorio eds BM Zuckerman; WF Mai; MB Harrison. Turrialba, CR, CATIE p 13-24.
- Barnett, HL. 1960. Illustrated genera of imperfect fungi. 2ed. Minneapolis, Burgess Publishing. 225p
- Beattie, GA; Lindow, SE. 1995. The secret life of foliar bacterial pathogens on leaves. Annual Review of Phytopathology 33:145-172

- Bertrand, B; Anzueto, F; Anthony, F; Eskes, AB. 1995. Genetic improvement of coffee for the resistance to root-knot nematodes *Meloidogyne spp* in America Central. In Congreso Internacional del Café (1995, Japón). Memoria. Paris, ASIC. p. 630-636
- _____; Rapidel, B. 1999. Desafíos en la caficultura en Centroamérica. IICA-PROMECAFÉ: CIRAD; IRD; CCCR. p. IX
- Bertsch, F. 1995. Fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Blakeman, JP. 1973. The chemical environment of leaf surfaces with special references to spore germination of pathogenic fungi. *Pestic. Sci.* 4:575-588.
- _____; Atkinson, P. 1981a. Antimicrobial substances associated with the aerial surfaces of plants. In *Microbial ecology of the Phylloplane*, ed. JP Blakeman. London. Academic. p. 245-263.
- _____ ed. 1981b. *Microbial ecology of the phylloplane*. London, Academic. 502p.
- _____; Fokkema, NJ. 1982. Potential for biological control of plant diseases on the phylloplane. *Annual Review Phytopathology* 20:167-192.
- _____. 1985. Ecological succession of leaf surface microorganisms in relation to biological control. In *Biological control on the Phylloplane*, eds. CE Windels; SE Lindow. St Paul, MN. American Phytopathology Society. p. 6-30.
- _____. 1988. Competitive antagonism of air-borne fungal pathogens. In *Fungi in biological control systems*, ed. MN Burges. Manchester. p. 141-160.
- Bovallius, A; Bucht, B; Roffey, R; Anas, P. 1978. Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden. *Applied Environmental Microbiology* 35:847-852.
- Boyce, JK; Fernández González, A; Fürst, E; Segura Bonilla, O. 1994. Café y desarrollo sostenible: Del cultivo agroquímico a la producción orgánica en Costa Rica. Heredia, Costa Rica, EFUNA. 248 p.
- Breeze, EM; Dix, NJ. 1981. Seasonal analysis of the fungal community of *Acer Platanoides* leaves. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 77:321-328.

- Buangson, DK; Jensen, HJ. 1966. A taxonomic study of Monochidae (Enoplida: Nemata) Inhabiting cultivated areas of Thailand. *Nematologica* 12:259-274.
- Burrage, SW. 1971. The microclimate at the leaf surface. *In Ecology of leaf surface microorganisms* eds. TF Preece; CH Dickinson. London, Academic. p. 91-101.
- Butterworth, J; McCartney, HA. 1991. The dispersal of bacteria from leaf surfaces by water splash. *Journal Applied Bacteriology* 71:484-496.
- Cadena, G. 1982. Diseminación de *Hemileia vastatrix* Berk & Br. *In Taller sobre Roya del Cafeto (1982, Manizales, Colombia)* Memorias Colombia, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia p. 1-27.
- Carpenter, PL. 1967. *Microbiology*. 2ed. Philadelphia. Saunders p. 54-63.
- Carter, MV; Price, TV. 1974. Biological control of *Eutypa armeniacae*. 2. Studies of the interaction between *E. armeniacae* and *Fusarium lateritium*, and their relative sensitivities to benzimidazole chemicals. *Aust J Agric Res* 25:105-119.
- Carvajal, J. 1984. *Cafeto, cultivo y fertilización*. Berna, Suiza, Instituto Internacional de la Potasa 254 p.
- Castro, F; Montenegro, L; Avilés, C; Moreno, M; Bolaños, M. 1961. Efecto del sombrío en los primeros años de un cafetal. *Turrialba* 3:10, 81-102.
- Cohen, E. 1952. Ciclos climáticos en 80 años de observaciones de las lluvias en San José y sus relaciones con el ojo de gallo (*Omphalia flavida*). *Suelo Tico* 28(6):248-254.
- Coomans, AV; Raski, DJ. 1991. *Aphanonchus intermedius* N.G; n. Sp. (Nemata: Araeolaimida). *Nematologica* 37:8-19.
- Chinchilla-Valenciano, E. 1987. *Atlas cantonal de Costa Rica*. San José, Costa Rica, Instituto de Fomento y Asesoría Municipal p. 175-178.
- Dasgupta, DR; Rask, DJ; Van Gundy, SD. 1969. Revision of the genus *Hemicriconemoides* Chitwood y Birchfield, 1957 (Nematoda: Criconematidae). *Journal Nematology* 1(2):126-145.
- _____; Nand, S; Seshadri, AR. 1970. Culturing and life history studies on the lance nematode, *Hoplolaimus indicus*. *Nematologica* 16:235-248.

- Derridj, S; Gregoire, V; Boutin, JP; Fiala, V 1989 Plant growth stages in the interspecific oviposition preference of the European corn borer and relations with chemicals present on the leaf surface *Entomol Exp Appl* 53:267-276
- Diem, HG 1974. Microorganisms of the leaf surface: Estimation of the mycoflora of the barley phyllosphere *J Gen Microbiol* 80:77-83
- Doherty, MA; Preece, TF. 1978 *Bacillus cereus* prevents germination of uredospores of *Puccinia allii* and the development of rust disease of leek, *Allium porrum*, in controlled environments *Physiology Plant Pathology* 12:123-132.
- Dropkin, VH 1980. Introduction to plant nematology. New York, Wiley. 293 p
- Durán, C 1985 Avances de los estudios epidemiológicos de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk & Br) en México. In Taller Regional de PROMECAFE sobre Epidemiología de la Roya del Cafeto (1985, Ciudad Antigua, Guatemala) Memoria. Guatemala, Asociación Nacional del Café p 33-52
- Duveiller, E 1994. A study of *Xanthomonas campestris* pv *undulosa* populations associated with symptomless wheat leaves *Parasitica* 50:109-117.
- Ebsary, BA 1981. *Bakernema yukonense* n. sp. (Nematoda: Criconematidae) with keys to the species of *Criconemella* and *Discoocriconemella*. Ottawa, Ont, Canadá. Biosystematics Research Institute Central Experimental Farm p. 3033-3047
- Ellis, MB 1971. Dematiaceous, Hyphomycetes. England. Commonwealth Mycological Institute. 608p.
- _____ 1976. More Dematiaceous, Hyphomycetes. England. Commonwealth Mycological Institute 508p
- Ercolani, GL. 1991. Distribution of epiphytic bacteria on olive leaves and the influence of leaf age and sampling time *Microbiol Ecol* 21:35-48.
- Esser, RP. 1992. A diagnostic compendium to species included in Paratylenchinae thorne, 1949 and Tylenchocriconematinae Raski y Siddiqui, 1975 (Nematoda: Criconematoidea). *Nematologica* 38:146-163

- Estivariz Coca, JJ 1997. Efecto de la sombra sobre la floración y producción de café (*Coffea arabica* var Caturra), después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica Tesis Mag Sc Turrialba, Costa Rica, CATIE. 65p
- Figuroa, R; Fischersworing, B; Rosskamp, R. 1998. Guía para la caficultura ecológica. Café orgánico. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica, GTZ. p 45-125.
- Fokkema, NJ; Den Houter, JG; Kosterman, YJC; Nelis, AL. 1979. Manipulation of yeasts on field-grown Wheat leaves and their antagonistic effect on *Cochliobolus sativus* and *Septoria nodorum*. Trans Br Mycol. Soc. 72:19-29
- _____; Schipper, B. 1986. Phyllophere versus rhizosphere as environments for saprophytic colonization. London, Cambridge. p. 137-159
- _____. 1991. Influence of pollen on saprophytic and pathogenic fungi on rye leaves. In Ecology of leaf surface microorganisms. eds TF Preece; CH Dickinson. London. Academic. p. 277-282.
- Foster, RC; Rovira, AD; Cock, TW. 1983. Ultrastructure of the root-soil interface. St Paul, Minn. American Phytopathological Society. 157p
- Frossard, R. 1981. Effect of guttation fluids on growth of microorganisms on leaves. In Microbial ecology of the phylloplane. ed JP Blakeman. London. Academic. p 213-226
- _____; Fokkema, NJ; Tietma, T. 1983. Influence of *Sporobolomyces roseus* and *Cladosporium cladosporioides* on leaching of C₁₄-labelled assimilates from wheat leaves. Trans. Br. Mycol. Soc. 80:289-296.
- Gibbs, BM; Shapton, DA. 1968. Identification methods for microbiologists. New York, Academic Press. 212 p. (Technical series no 2)
- González, LC. 1979. Introducción a la Fitopatología. San José, Costa Rica, IICA. p 110-124
- González, M. 1998. Evaluación de plagas de verado en Café en dos sistemas de manejo: Convencional y Ecológico. Tesis Mag Sc. Turrialba Costa Rica, CATIE. 76 p.
- Gopal, NH; Ramaiah, PK; Narasimhaswamy, RL. 1970. Shade for arabica coffee in India. Indian Coffee 34:265-267.

- Goodey, T. 1933. Plant parasitic nematodes and the diseases they cause. New York, EP Dutton. p 273-280.
- Goodman, RN; Novacky, AJ. 1994. The hypersensitive reaction in plants to pathogens: A resistance phenomenon. St Paul, Minnesota. APS PRESS. 244 p
- Guharay, F; Monterrey J; Monterroso, D; Staver C. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Managua, Nicaragua, CATIE. 272 p. (Manual Técnico no. 44)
- _____: Monterroso, D; Muschler, R; Staver, C. 2000. Designing pest-suppressive, multi-strata perennial crop systems: Shade-growth coffee in Central America as a case study. Agroforestry System (In Press)
- Guilligan, CA. 1983. Modeling of soil-borne pathogens. Annual Review Phytopathology 21:45-64
- Gupta, VP; Tewari, SK; Datta, SK. 1995. Surface ultrastructural studies on ingress and establishment of *Pseudomonas syringae* pv *mori* on mulberry leaves. Journal Phytopathology 143:415-418.
- Haas, JH; Rotem, J. 1976. *Pseudomonas lachrymans* adsorption, survival and infectivity following precision inoculation of leaves. Phytopathology 66:992-997
- Hanlin, RT. 1990. Illustrated genera of Ascomycetes. St Paul, Minnesota. APS Press. 263p
- Hirano, SS; Clayton, MK; Upper, CD. 1994. Estimation of and temporal changes in means and variances of populations of *Pseudomonas syringae* on snap bean plants. Applied Environmental Microbiology 44:695-700.
- _____: Baker, LS; Upper, CD. 1996. Raindrop momentum triggers growth of leaf-associated populations of *Pseudomonas syringae* on field-grown snap beans plants. Applied Environmental Microbiology 62 :2560-2566
- Hooper, DF. 1970. Laboratory methods for work with plant and soil nematodes. ed JF Southey. Ministry of Agriculture, Fish and Food. UK. Technical Bulletin. No. 2. p 34-38.
- ICAFFE-MAG (Instituto de Café de Costa Rica; Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1989. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. 6 ed. San José, Costa Rica, CAMALEÓN. 122. p.

- Jacques, M-A; Kinkel, LL; Morris, CE 1995. Population sizes, immigration and growth of epiphytic bacteria on leaves of different ages and positions of field-grown endive (*Cichorium endivia* var *latifolia*). *Applied Environmental Microbiology* 61:899-906
- Jaramillo, RA 1976 Condiciones meteorológicas en un cafetal bajo sombrío Colombia. *Cenicafé* 27(4):180-184
- _____; Gómez, GL 1989 Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío Colombia. *Cenicafé* 40(3):65-79.
- Jenkins, WR; Taylor, DP. 1967. *Plant Nematology* New York, Reinhold Publishing Corporation 270 p.
- Jiménez, OF 1995. Uso de la meteorología en el combate de enfermedades fitopatógenas. *In* Opciones al uso unilateral de plaguicidas en Costa Rica: Pasado, Presente y Futuro. San José, Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, EUNED v 2. p. 101-127.
- Khan, WV; Jairajpuri, MS. 1973 Studies on Mononchida of India Genus *Mylonchulus* (Cobb, 1916) altherr. 1953 with description of there new species. *Nematologica* 25:406-411.
- Kinkel, LL ; Wilson, M ; Lindow, SE 1995 Effect of sampling scale of the assessment of epiphytic bacterial population *Microbiol Ecol.* 29:283-297
- _____; Wilson, M; Lindow, SE 1996 Utility of microcosm studies for predicting phylloplane bacterium population sizes in the field. *Applied Environmental Microbiology* 62:3413-3423
- _____. 1997. Microbial population dynamics on leaves *Annual Review of Phytopathology* 35:327-347
- Kolattukudy, PE. 1976. Introduction to natural waxes *In* Chemistry and biochemistry of natural waxes PE Kolattukudy, ed. Amsterdam, Elsevier. p. 1-15
- _____. 2002. Leaf surfaces waxes and the process of leaf colonization by microorganisms *In* Phyllosphere microbiology SE Lindow; EI Hecht-poinar; VJ Elliott eds St Paul, Minnesota. APS. Press p. 3-26
- Kuan, T-L; Minsavage, GV; Schaad, NW. 1986 Aerial dispersal of *Xanthomonas campestris* pv *campestris* from naturally infected *Brassica campestris* *Plant Diseases* 70:409-413

- Kumar, AC 1988. Nematodes problem of coffee and their management. *Indian Coffee* 52(7):12-19
- Leach, CM 1967. Interaction of near-UV light and temperature on sporulation of *Alternaria*, *Cercospora*, *Fusarium*, *Helminthosporium* y *Stemphylium*. *Canadian Journal of Botany* 45: 1999-2015
- _____; Anderson, AJ 1982. Radiation quality and plant diseases. In *Biometeorology and Integrated Pest Management* eds. JL Hatfield; IJ Thomason, New York, Academic Press p. 267-306.
- Leben, C. 1988. Relative humidity and the survival of epiphytic bacteria with buds and leaves of cucumber plants. *Phytopathology* 78:179-185
- _____; Schroth MN; Hildebrand, DC. 1970. Colonization and movement of *Pseudomonas syringae* pv *syringae* recovered from the phylloplane of weeds and from bean crop residue. *Phytopathology* 80:938-942.
- Lelliott, RA; Stead, DE. 1987. *Methods for the diagnosis of bacterial diseases of plants*. Oxford Blackwell Scientific Publications 216p.
- Lighthart, B; Shaffer, BT 1995. Airborne bacteria in the atmospheric surface layer: temporal distribution above a grass seed field. *Applied Environmental Microbiology* 61:1492-1496.
- Lindermann, J; Army, DC; Upper, CD. 1984. Epiphytic population of *Pseudomonas syringae* pv *syringae* on snap bean and nonhost plants and the incidence of bacterial brown spot disease in relation to cropping patterns. *Phytopathology* 74:1329-1333
- _____; Suslow, TV. 1987. Competition between ice nucleation-active wild type and ice nucleation-deficient deletion mutant strains of *Pseudomonas syringae* and *P. fluorescens* biovar I and biological control of frost injury on strawberry blossoms. *Phytopathology* 77:882-886
- Lindow, SE; Andersen, GL. 1996. Influence of immigration on epiphytic bacterial populations on navel oranges leaves. *Applied Environmental Microbiology* 36:831-838
- Lobos, M 1993. Efectos de factores de estrés tecnológico sobre café (*Coffea arabica*), cultivar caturra y su predisposición al ataque de hongos fitopatógenos. Tesis Mag Sc Turrialba, CR, CATIE 105 p.

- Loof, PAA 1993. On the status of *Mylonchulus incurvus* Cobb, 1917 and *M. subtenius* Cobb, 1917 with redescription of *M. inflatus* n sp. And comment on the genera *Paramylonchulus Jairajpuri* y Khan, 1982 and *Pakmylonchulus* Khan y Sayeed, 1987 (Nematoda: Mononchina). *Nematologica* 39:153-176
- López de León, E ; Mendoza, D. 1999 Manual de caficultura orgánica. Guatemala. Asociación Nacional del Café. 69 p.
- Lynch, JM; Whipps, JM. 1991. Substrate flow in the rhizosphere. *In* The rhizosphere and plant growth eds. DL Keister; PB Cregan Dordrecht, Kluwer. p 15-24.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Nicaragua). 1998. Estudio de la cadena agroindustrial del café. Managua, Nicaragua. p. 1-40.
- McInnes, TB; Gitaitis, RD; McCarter, SM ; Jaworski, CA ; Phatak, SC 1988. Airborne dispersal of bacteria in tomato and pepper transplant fields. *Plants Diseases* 72:575-579.
- Mechaber, WL; Marshall, DB; Mechaber, RA; Jobe, RT; Chew, FS 1996 Mapping leaf surface landscapes. *Proc Natl Acad Sci. USA* 93:4600-4603
- Mendoza, R; Monterroso, D; Gutiérrez, Y 1995 Estudio de la relación incidencia-severidad de las principales enfermedades del café (*Coffea arabica*, L) en la IV y VI región de Nicaragua. *In* Simposio sobre Caficultura Latinoamericana (1993, Managua, Nicaragua) Memoria Tegucigalpa, Honduras, IICA-PROMECAFE. V. 1, p irr.
- Mercure, EW; Kunoh, H; Nicholson, RL 1994 Adhesión of *Colletotrichum graminicola* conidia to corn leaves: a requirement for disease development. *Physiol. Mol. Plant Pathol* 45:407-420.
- Miller, PR. 1975 Importancia de las pérdidas por enfermedades de las plantas. *In* Fitopatología: Curso Moderno, Tomo I Buenos Aires, Argentina, Hemisferio Sur. p 192-195.
- Mmbaga, MT; Steadman, JR; Roberts, JJ 1994 Interaction of bean leaf pubescence with rust urediniospore deposition and subsequent infection density. *Annals Applied Biology* 125:243-254
- Monterroso, D. 1999 Interacción patosistemas-sombra en el sistema café. *In* Semana Científica CATIE (4, 1999, Turrialba, Costa Rica). Actas Logros de la investigación para el nuevo milenio. Turrialba, CR., CATIE. p 156-161

- Moreno, G. 1985 Estudio de la epidemiología de la roya del café en condiciones de baja altitud en El Salvador. *In* Taller Regional de PROMECAFE sobre Epidemiología de la Roya del Café (1985, Ciudad Antigua, Guatemala) Memoria Guatemala, Asociación Nacional del Café p. 33-52.
- Morgan G, A; López Ch, L; Vilchez R, H. 1992 Description of *Pratylenchus gutierrezii* n. sp. (Nematoda: Pratylenchidae) from coffee in Costa Rica. *Journal Nematology* 24(2):298-304
- Mountain, WB. 1960. Theoretical considerations of plant-nematode relationships. *In* Nematology: fundamentals and recent advances with emphasis on plant parasitic and soil forms eds JN Sasser; WR Jenkins. Chapel Hill. Univ. North Carolina Press p. 419-421.
- Mulvey, RH. 1961. The Mononchidae: A family of predaceous nematodes, 1. Genus *Mylonchulus* (Enoplida: Mononchidae). *Canadian Journal of Zoology* 39:665-696
- _____. 1961. The Mononchidae: A family of predaceous nematodes, 2. Genus *Anatonchus* (Enoplida: Mononchidae). *Canadian Journal of Zoology* 39:807-826
- _____.; Golden, M. 1983. An illustrated key to the western hemisphere with species morphometrics and distribution. *Journal of Nematology* 15(1):1-70.
- Muschler, R. 1997. Efectos de la sombra de *Erythrina poeppigiana* sobre *Coffea arabica* vars Caturra y Catimor. *In* XVIII Simposio Latinoamericano de Caficultura (18, 1997, San José, Costa Rica). Memorias. San José, CR, IICA. p. 157-161
- O'Brien, RD; Lindow, SE. 1989. Effect of plant species and environmental conditions on epiphytic population sizes of *Pseudomonas syringae* and other bacteria. *Phytopathology* 79:619-627
- Oliveira, JR; Romeiro, RS; Muchovej, JJ. 1991. Population tendencies of *Pseudomonas cichorii* and *P. syringae* pv *garcae* in young and mature coffee leaves. *Journal Phytopathology* 131:212-214.
- Osorio, FO. 1997. Competitividad y calidad en armonía con la naturaleza. *In* Simposio Latinoamericano de Caficultura (18, 1997, San José, CR) Memoria Costa Rica, IICA-PROMECAFE; ICAFE. p. 47-61
- Overgaard Nielsen, C. 1949. Studies on the soil microfauna: The soil inhabiting nematodes. *Nat Jutland* 2:1-131

PANIF (Programa Ambiental de Nicaragua-Finlandia). 1998. Diagnóstico de la situación del café Managua, Nicaragua p. 1-25.

Raski, DJ; Golden, AM. 1965. Studies on the genus *Criconemiodes* Taylor, 1936 with description of eleven new species and *Bakernema variable* n sp (Criconematidae: Nematoda) *Nematologica* 11:501-565

_____; Coomans, AV. 1991. Three new species of *Paraphanolaimus* (Nemata: Araeolaimidae) with key to species *Nematologica* 37:44-62

Rayner, RW. 1942. Shading of coffee in Latin America. The Coffee Board of Kenya. Monthly Bulletin 7(80):97

_____. 1961. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br) *Annals Applied Biology* 49:497-505

Rivera, AA; Hernández, A. 2001. Estudio del uso de diferentes fuentes de material orgánica (pulpa de café descompuesta, cachaza de caña de azúcar descompuesta, compost y gallinaza) para el combate de nematodos fitoparásitos en suelos para viveros. *In* Avance técnico: Resultados de investigaciones realizadas durante el año 1999. El Salvador, Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café (PROCAFE). p. 79-91.

Rojas, VY. 1983. Reconocimiento de los géneros de nematodos que afectan el cultivo del café (*Coffea arabica*) en el cantón de San Carlos. Práctica de especialidad. Ing Agr. San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 51 p.

Rotem, J. 1978. Climatic and weather influences on epidemics. *In* Plant Disease. An Advanced Treatise eds. J Horsfall; E Cowling, New York, Academic Press, v. 2. p. 317-337

Samayoa Juárez, JO. 1999. Desarrollo de enfermedades del café bajo manejo orgánico y convencional en Paraiso; Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 73 p.

Samper, M. 1999. Trayectoria y viabilidad de las caficulturas Centroamericanas. *In* Desafíos de la caficultura en Centroamérica. eds. B Bertrand; B Rapidel. San José, Costa Rica, IICA-PROMECAFE, CIRAD, IRD, CCCR. p. 1-68.

Sánchez, JC. 1991. Caficultura moderna. 3 ed. Guatemala, Colofón. p. 1-2: 17-21.

Sánchez, CJ. 1999. Agroclimatología. Caracas, Venezuela. Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. 478p.

- Sasser, JN; Jenkins, WR. 1960. Nematology: Fundamentals and recent advances with emphasis on plant parasitic and soil forms North Carolina, USA. The University of North Carolina Press p. 339-415.
- Schaad, NW. 1980. Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. St. Paul, Minnesota. APS. 72p.
- _____. 1988. Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. 2ed. St. Paul, Minnesota. APS. 165p.
- Schreiber, L; Schönherr, J. 1993. Contact areas between waxy leaf surfaces aqueous solutions: Quantitative determination of specific leaf surfaces contact areas. Journal of Experimental Botany 44:1653-1661.
- Shaw, RH. 1982. Wind movement within canopies. In Biometeorology in Integrated Pest Management eds JL Hatfield; IJ Thomason, New York, Academic Press. p. 17-41.
- Sher, SA. 1965. Revision of the Hoplolaiminae (Nematoda) *Rotylenchus Filipjev*, 1936. Nematologica 11:173-198.
- _____. 1966. Revision of the Hoplolaiminae (Nematoda) *Helicotylenchus* Sreiner, 1945. Nematologica 12:1-56.
- Siddiqi, MR. 1965. *Circonemoides citricola* n sp (Nematoda: Criconematidae), with a redescription of *Criconema murrayi* (Southern, 1914) Nematologica 11:239-243.
- Smart, RE. 1985. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. American Journal of Enology and Viticulture 6(3):230-239.
- Timm, RW. 1969. The genus *Isolaimium* Cobb (Order Isolaimida: Isolaimidae) Journal Nematology 1(2):97-106.
- Timmer, LW; Marois, JJ; Achor, D. 1987. Growth and survival of *Xanthomonas* under conditions non conducive to disease development. Phytopathology 77:1341-1345.
- Tuite, J s f. Plant pathology methods: Laboratory exercises. West Lafayette, Purdue University. 205 p.

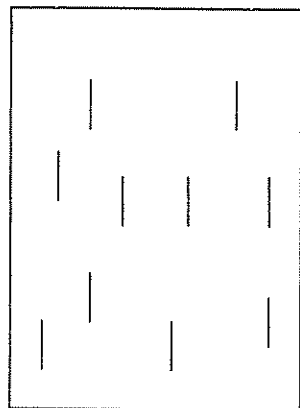
- Tukey Jr, HB 1970. The leaching of substances from plants Annual Review Plant Physiology 21:305-324.
- Van der Vossen, HAM; Cook, RTA 1975. Incidence and control of berry blotch caused by *Cercospora coffeicola* on arabica coffee in Kenya Kenya Coffee 40(467):58-61
- Vargas, GE; Mora, AD. 1984 La roya del café en Costa Rica, San José Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Escuela de Fitotecnia. 40p.
- Waggoner, PE; Pack, AB; Reifsnnyder, WE 1959. The climate of shade Conn Agr Exp Sta Bull no. 626 39p
- Wang, A; Avelino, J 1999. El ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*). In Desafios de la caficultura en Centroamérica eds B Bertrand; B Rapidel. San José, Costa Rica IICA, PROMECAFE, CIRAD, IRD, CCCR p 243-260.
- Weller, DM; Saettler, AW. 1980. Colonization and distribution of *Xanthomonas phaseoli* and *Xanthomonas phaseoli* var *fuscans* in field-grown navy beans Phytopathology 70:500-506.
- World Meteorological Organization 1988. Agrometeorological aspects of operational crop protection, WMO Technical Note no 192. 115 p
- Yang, X; Madden, LV; Wilson, LL; Ellis, MA 1990. Effects of surface topography and rain intensity on splash dispersal of *Colletotrichum acutatum* Phytopathology 80:1115-1120.
- Zahner, R. 1968. Water deficits and growth of trees In Water deficits and plant growth. ed. TT Kozlowski New York, Academic Press. v 2 p 191-254
- Zentmyer, GA; Bald, JG. 1977. Management of the environment. In Plant Disease: An Advanced Treatise eds J Horsfall; E Cowling. New York, Academic Press v. 1, p. 121-144
- Zuckerman, BM; Mai, WF; Rodhe, RA 1971. Plant parasitic nematodes. New York, Academic Press. v 2. 347 p

8 ANEXOS

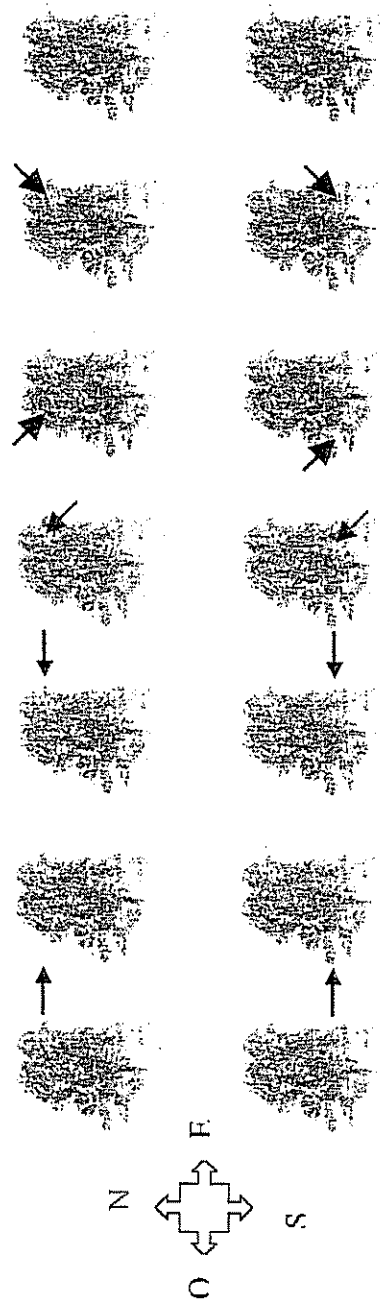
Anexo I. Muestreo del material vegetal.

De las plantas de café, se muestrearon los estratos superior e inferior.

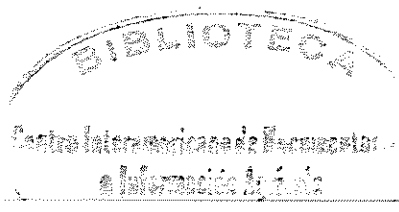
Los sitios de muestreo se seleccionaron aleatoriamente.



2-3 ha

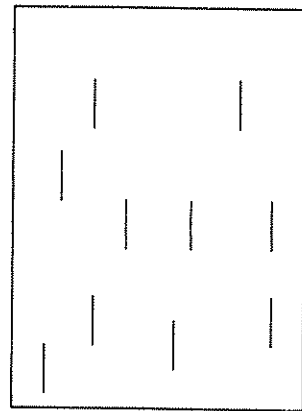


La recolección de las hojas se realizó abarcando los cuatro puntos cardinales dentro del surco.

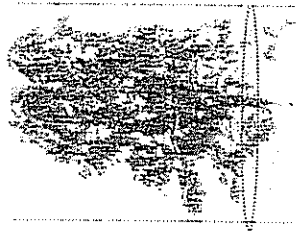
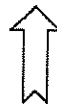


Anexo 2. Muestreo de suelo.

Los sitios de muestreo fueron seleccionados aleatoriamente.

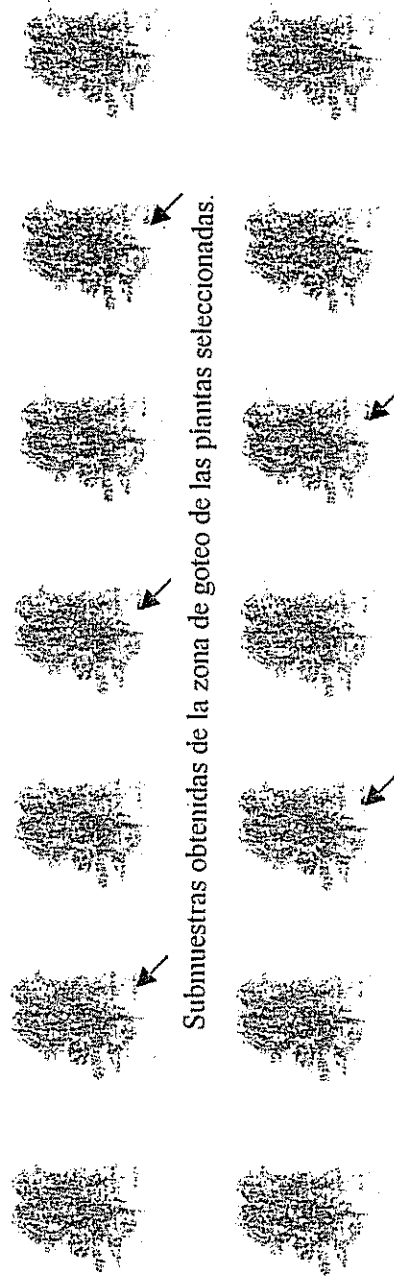


2-3 ha



Zona de Goteo.

La extracción de la submuestra se realizó en la zona de goteo de la planta de café.

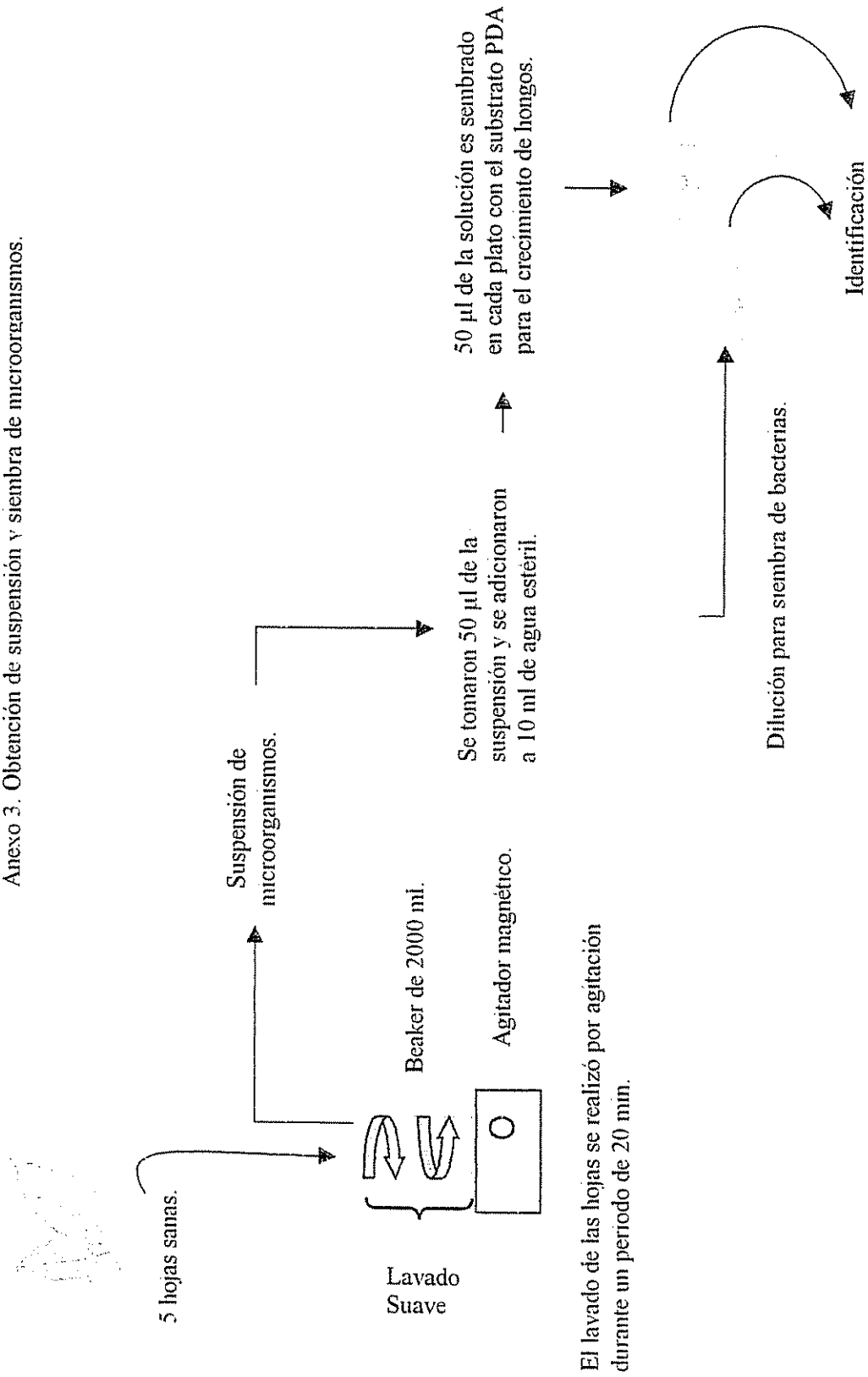


Submuestras obtenidas de la zona de goteo de las plantas seleccionadas.

Para el muestreo de suelo se eligieron cinco sitios de los diez escogidos aleatoriamente para el muestreo de hojas.

Una muestra de suelo, estivo constituida de cinco submuestras colectadas en cada sitio.

Anexo 3. Obtención de suspensión y siembra de microorganismos.



Anexo 4 Características usadas para diferenciar géneros reconocidos de procariontes patógenos de plantas con crecimiento sobre medios estándares

Características generales	<i>Eryinia</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Xanthomonas</i>	<i>Agrobacterium</i>	<i>Clavibacter</i>	<i>Clostridium</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Streptomyces</i>
Colonias amarillas o naranjas sobre medio NGA, YDC o NBY	-	-	+a	-	+b	-	-	-
Pigmento fluorescente en medio KB o <i>Pseudomonas fluorescens</i> Agar Base	-	+	-	-	-	-	-	-
Crecimiento anaeróbicamente	+	-	-	-	-	+	+	-
Crecimiento aeróbicamente	+	+	+	+	+	-	+	+
Más de cuatro flagelos peritricos	+	-	-	-	-	+	+	-
Gram positivo	-	-	-	-	+	+	+	+
Formación de esporas	-	-	-	-	-	+	+	-
Micelio aéreo presente	-	-	-	-	-	-	-	+

Fuente: Schaad, NW: 1988 Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria

a: Colonias de patovares *manihotis* y *mangiferaeindicae* son incoloras.

b: Colonias de *Clavibacter michiganense* sub sp. *Sepedonicum* son generalmente incoloras

NGA: Agar Nutriente Glucosado

YDC: Extracto de Levadura-Dextrosa-CaCO₃

NBY: Agar Nutriente con Extracto de Levadura

KB: Medio Agar B de King *et al*

Anexo 5 Precipitación diaria y distribución de las lluvias, durante el periodo de Marzo a Julio del 2002, Paraiso, Cartago, Costa Rica

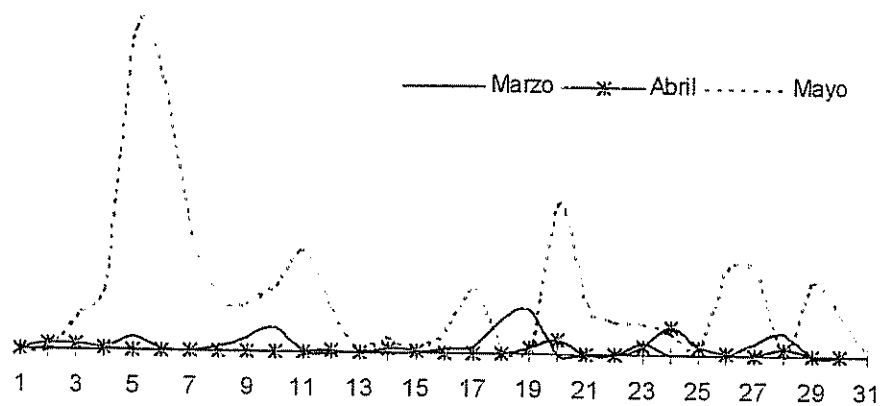


Figura 1 Precipitación diaria y distribución de las lluvias, durante los meses de marzo, abril y mayo del 2002, Paraiso, Cartago, Costa Rica

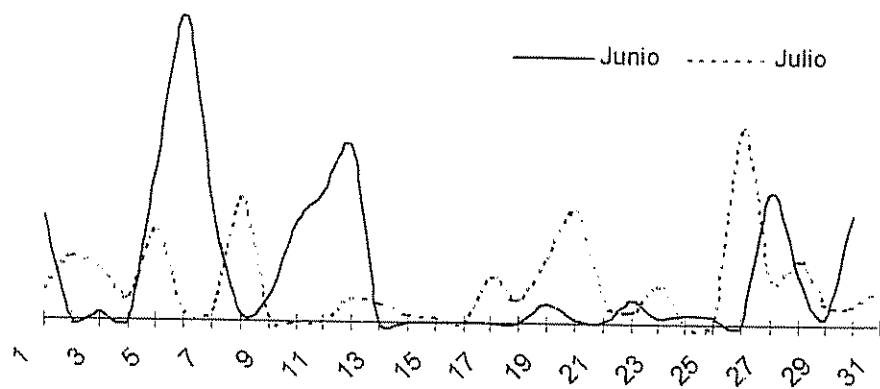


Figura 2. Precipitación diaria y distribución de las lluvias, durante los meses de junio y julio del 2002, Paraiso, Cartago, Costa Rica

Anexo 6 Tabla de niveles críticos para la interpretación de análisis de suelos

<i>Características</i>	<i>Categoría.</i>		
	Baja	Media	Alta
PH agua 1:2.5	< 5.5	5.6 – 6.5	> 6.5
Acidez (cmol(+)/L)	< 0.5	0.5 – 1.5	> 1.5
Saturación acidez (%)	< 10.0	10.0 – 50.5	> 50.0
Suma de bases (cmol(+)/L)	< 5.0	5.0 – 25.0	> 25.0
CICE (cmol(+)/L)	< 5.0	5.0 – 25.0	> 25.0
Ca (cmol(+)/L)	< 4.0	4.0 – 20.0	> 20.0
Mg (cmol(+)/L)	< 1.0	1.0 – 5.0	> 5.0
K (cmol(+)/L)	< 0.2	0.2 – 0.6	> 0.6
Ca/Mg		2.0 – 5.0	
Ca/K		5.0 – 25.0	
Mg/K		2.5 – 15.0	
Ca+Mg/K		10.0 – 40.0	
P (mg/L)	< 10.0	10.0 – 20.0	> 20.0
Zn (mg/L)	< 2.0	2.0 – 10.0	> 10.0
Mn (mg/L)	< 5.0	5.0 – 50.0	> 50.0
Fe (mg/L)	< 10.0	10.0 – 100.0	> 100.0
Cu (mg/L)	< 2.0	2.0 – 20.0	> 20.0

Fuente: Bertsch, 1995.

Nivel crítico de suelo: concentración extraída del suelo, por encima de la cual las posibilidades de encontrar respuestas a la fertilización son muy bajas, y por debajo de la cual, muy probablemente los rendimientos serán pobres (Bertsch, 1995)

Acidez, Ca, y Mg extraídos con KCl 1N, 1:10

K, P, Mn, Zn, Cu, Fe, extraídos con Olsen Modificado, 1:10

Adaptado del MAG, 1978; DíazRomeu y Hunter, CATIE, 1978

Anexo 7 Parámetros de suelos adecuados y manejables para el cultivo del café

Parámetro	Rangos adecuados	Rangos manejables
PH	4.9 - 5.6	4.5 - 6.0
Materia Orgánica (%)	11.4 - 12.6	> 4.0
K (meq/100g)	0.29 - 0.70	--
(meq/100g)	1.6 - 4.2	< 4.2
(meq/100g)	0.5 - 1.4	--
K:Ca:Mg	1:6:2	--
P (ppm)	6.0 - 14.0	< 6.0
Textura	Franco	Franco
Arcilla (%)	8.0 - 41.0	> 8.0 < 41.0
Profundidad horizonte superficial (cm)	> 30.0	30.0

Fuente: Valencia, 1998

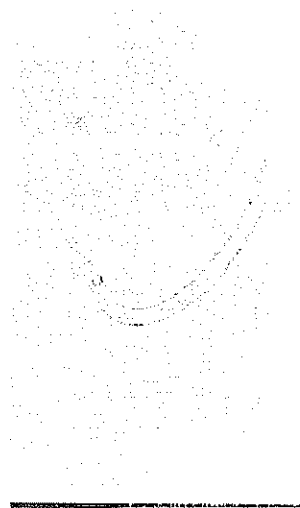
Anexo 8. Algunos géneros de nematodos encontrados



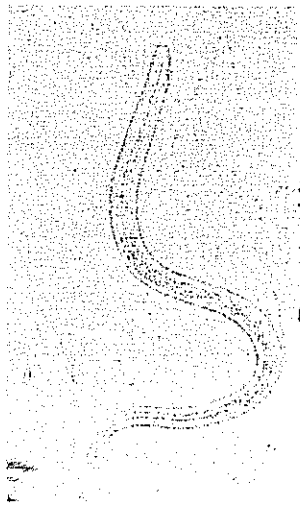
Desconocido



Paraphanolanaimus spp



Desconocido



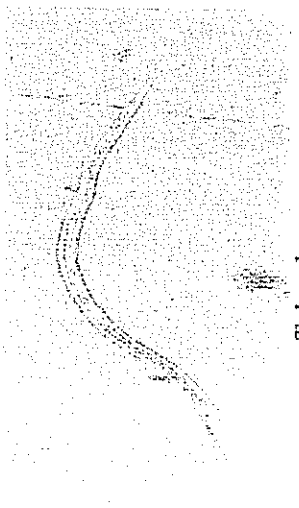
Desconocido



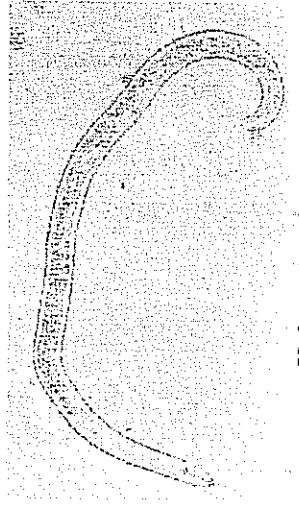
Pratylenchus spp



Desconocido



Tylenchus spp



Helicotylenchus spp



Desconocido