

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS**

**DETERMINACION DEL EFECTO ECONOMICO DE LOS NEMATODOS FITOPARASITICOS
EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA FINCA UNION TACANA, NUEVO
PROGRESO, SAN MARCOS**

DOCUMENTO DE GRADUACION

**PRESENTADOS A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR

PABLO JOSE BALAÑA RUANO

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

**SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO DE LICENCIADO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2,003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

M.V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Dr. ARIEL ABDERRAMAN ORTIZ LOPEZ
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. ALFREDO ITZEP MANUEL
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. MANUEL DE JESUS MARTINEZ OVALLE
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. ERBERTO RAUL ALFARO ORTIZ
VOCAL CUARTO	Br. LUIS ANTONIO RAGUAY PIRIQUE
VOCAL QUINTO	Br. JUAN MANUEL COREA OCHOA
SECRETARIO	Ing. Agr. PEDRO PELAEZ REYES

Guatemala, marzo de 2,003

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Distinguido miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el documento de graduación titulado.

DETERMINACION DEL EFECTO ECONOMICO DE LOS NEMATODOS FITOPARASITOS EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L) EN LA FINCA UNION TACANA, NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento

Atentamente

PABLO JOSE BALAÑA RUANO

AGRADECIMIENTOS

A:

Lic. Mamerto Reyes Hernández
Dr. Francisco Anzueto
Ing. Agr. Edín Orozco
Por su asesoría en el presente documento.

Ing. Antonio Borgonovo
Ing. Alfredo Borgonovo
Sr. Mauricio Ochoa Cuellar
Por darme la oportunidad de hacer esta investigación en la finca Unión
Tacaná.

A todo el personal de la finca Unión Tacaná.

Ing. Agr. Sergio Sierra
Por la ayuda brindada en el laboratorio de Anacafé (ANALAB)

Todas las personas que de una u otra manera colaboraron con la
Elaboración de este documento.

TESIS QUE DEDICO

A:

Mi patria Guatemala.

Todos los cafetaleros del país.

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

La Facultad de Agronomía.

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Por se la luz que ilumina la vida.

MIS PADRES: Oswaldo Enrique Balañá Portillo
Blanca Estela Ruano Flores de Balañá
Por su soporte y apoyo incondicional.

MI ESPOSA: Mariajosé, por su amor y su apoyo.

MI HIJA: Mariajosé.

MIS HERMANOS: Juan David y Pedro Andrés.

MI SUEGRA: María Lucrecia Bautista Motta.

MIS AMIGOS: Luis Erazo, Rolando Reynoso, Francisco Medal, Juan
Cartagena, Carlos Soto, Estuardo Lira, José Velasquez,
Aviu Polanco, Baudilio Jordan, Glenda Lee y Barbara
Porta.

INDICE

INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
1. Introducción	1
2. Definición del problema	1
3. Marco teórico	2
3.1 Marco conceptual	2
3.1.1 Descripción botánica y sistemática del café (<i>Coffea arabica</i> L.)	2
3.1.2 Principales variedades que se cultivan en Guatemala	3
3.1.3 Prácticas de manejo de la plantación	5
3.1.3.1 Manejo de árboles de sombra	5
3.1.3.2 Manejo de tejido en el cafeto	5
3.1.3.3 Fertilización	6
3.1.3.4 Métodos de control de malezas	6
3.1.3.5 Las enfermedades del cafeto	7
3.1.4 Los Nematodos	7
3.1.4.1 Anatomía de los nematodos	8
3.1.4.2 Ciclo vital	10
3.1.4.3 Ambientes de los nematodos fitoparásitos	10
3.1.4.4 Clasificación de los nematodos	11
3.1.4.5 Distribución de los nematodos	11
3.1.4.6 Distribución vertical de los nematodos	12
3.1.4.7 Poblaciones de nematodos	12

3. 1. 4. 8	Temperatura	12
3. 1. 4. 9	Humedad	13
3. 1. 4. 10	Textura y estructura del suelo	13
3. 1. 4. 11	Constitución del suelo	14
3. 1. 4. 12	Clima	14
3. 1. 4. 13	El ambiente de la planta	14
3. 1. 4. 14	La rizósfera	15
3. 1. 4. 15	Alimentación y daños a las plantas	15
3. 1. 4. 16	Descripción de especies y síntomas de los nematodos que parasitan al cultivo del café (<i>Coffea arabica</i> L.)	15
	A) Nematodos de lesión (<i>Pratylenchus</i> spp.)	15
	B) Nematodos formadores de agallas (<i>Meloidogyne</i> spp.)	16
3.1.4.17	Muestreo de nematodos	16
3.1.5	Análisis de factores que afectan el rendimiento	17
3.2	Marco referencial	18
3.2.1	Ubicación Geográfica de la finca La Unión Tacaná	18
3.2.2	Caracterización socioeconómica de la finca La Unión Tacaná	18
3.2.3	Actividades productivas de la finca La Unión Tacaná	19
3.2.4	Producción de la finca La Unión Tacaná	20
3.2.5	Análisis de nematología hechos en la finca Unión Tacaná	20
4.	Objetivos	22
5.	Hipótesis	22
6.	Metodología	22
6.1	Area de estudio	22
6.2	Muestreo de nematodos	22

6.3	Determinación del porcentaje de humedad de cada muestra de suelo	23
6.4	Metodo de extracción de nematodos	23
6.5	Determinación de géneros de nematodos fitoparásitos y conteo de especímenes	23
6.6	El modelo conceptual del rendimiento de café	23
6.7	Muestra de producción	25
6.8	El modelo empírico	25
6.9	Pruebas de violación de supuestos	27
6.10	Corrección de la multicolinealidad	28
6.11	Prueba empírica de la hipótesis de trabajo sobre el efecto de los nematodos en el rendimiento	29
6.12	Pérdidas físicas	29
6.13	Prueba empírica de la hipótesis de trabajo sobre el efecto de los nematodos en las ganancias	31
6.14	Pérdidas económicas	33
7.	Resultados y su discusión	34
7.1	Control de nematodos practicado en la finca y producción obtenida	34
7.2	Resultados estadísticos	35
7.3	Producción observada y estimada de la finca	37
7.4	Pérdidas físicas ocasionadas por los nematodos	38
7.5	Pérdidas económicas ocasionadas por los nematodos	38
8.	Conclusiones y recomendaciones	40
8.1	Conclusiones	40
8.2	Recomendaciones	41
8.2.1	Para la finca	41

8.2.2 Para la región Suroccidental de Guatemala	42
9. Bibliografía	42
ANEXOS	
1. Prueba empírica de la relación inversa que las ganancias guardan con la población de nematodos	44
2. Base de datos para el ajuste de la función de respuesta del rendimiento de café. Finca Unión Tacaná. Ciclo 1,999-2,000	46
3. Análisis nematológicos hechos en el año de 1,998	48

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Principales enfermedades que afectan al café en Guatemala	8
Cuadro 2.	Actividades agrícolas que se realizan al cultivo de café de la finca Unión Tacaná, 1,999	20
Cuadro 3.	Características de los lotes de café finca Unión Tacaná, 1,998	21
Cuadro 4.	Función de respuesta del rendimiento de café. Especificación "Doble logarítmica simple". Finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso San Marcos. Ciclo 1,999-2,000	35
Cuadro 5.	Matriz de correlación de orden cero entre las variables explicativas del rendimiento	36
Cuadro 6.	Función de respuesta del rendimiento de café. Especificación "Doble logarítmica con componentes principales". Finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso San Marcos. Ciclo 1,999-2,000	37
Cuadro 7.	Producción observada y estimada de la finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso, San Marcos. Ciclo 1,999-2,000	38
Cuadro 8.	Pérdidas físicas ocasionadas por los nematodos en la finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso, San Marcos. Ciclo 1,999-2,000	39
Cuadro 9.	Pérdidas económicas ocasionadas por los nematodos en la finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso, San Marcos. Ciclo 1,999-2,000	40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Organigrama de la finca Unión Tacaná S.A., Nuevo Progreso, San Marcos, 1,999	19
Figura 2.	Distribución de Durbin-Watson y criterios de decisión	28
Figura 3.	Variación estacional de <i>Pratylenchus</i> y <i>Meloidogyne</i> en la finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso San Marcos. Ciclo 1,999-2,000	34

DETERMINACIÓN DEL EFECTO ECONÓMICO DE LOS NEMATODOS FITIOPARÁSITOS EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN LA FINCA UNIÓN TACANÁ, NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE ECONOMIC EFFECT OF THE PHITOPARASITIC NEMATODES IN THE COFFEE CULTIVE (*Coffea arabica* L.) AT FINCA UNIÓN TACANÁ, NUEVO PROGRESO, SAN MARCOS

RESUMEN

Los nematodos han sido un problema para la caficultura de Guatemala, principalmente en la zona suroccidental. En este trabajo, con el propósito de determinar el efecto económico de esta plaga en la producción de café, se analizó el caso de la finca Unión Tacaná, la cual se ubica en esta región en cuestión. La información básica se produjo a través de doce muestreos mensuales de nematodos, conducidos de mayo/1,999 á abril/2,000. Para ello, se seleccionaron 15 de los 20 de lotes de producción de café de la finca. Dentro de los lotes seleccionados, se delimitaron parcelas de una hectárea para el muestreo espacial y temporal de los nematodos. Para determinar el efecto económico de está plaga, se ajustó una ecuación de respuesta en la que el rendimiento es una función de la humedad del suelo, la edad de las plantas, el número de árboles de sombra, densidad de siembra, la textura del suelo, la pendiente del terreno, la variedad sembrada y del número de nematodos. Se determinó que por cada 1 % en que se eleve la población de *Pratylenchus* y *Meloidogyne*, los rendimientos de café se reducen en un 0.25 % y en ganancias de 0.88 %. Por otra parte, se estimó que los nematodos ocasionan una pérdida física del 85.9 %, la cual asciende a 7,002,188 kg de café cereza. En términos de ganancias perdidas, se determinó que por efecto de esta plaga, la finca dejó de percibir Q 17,073,080. Estos resultados evidencian que el daño ocasionado por los nematodos es severo. Finalmente, para resolver este problema, se recomiendan dos prácticas agronómicas: Primero, renovar las plantaciones de café con variedades injertadas, debido a que estas son mas resistentes al ataque de nematodos y cochinillas; y segundo, introducir y adoptar la práctica permanente de incorporar materia orgánica al suelo, está con el fin de establecer el equilibrio ecológico del suelo, lo cual estimulará el aumento de agentes naturales que controlarán las altas poblaciones de nematodos.

1. Introducción

Con el surgimiento y desarrollo de la agricultura, y la artificialización del ambiente que ello conllevó, se rompieron algunas cadenas tróficas y con ello algunos organismos se convirtieron en plagas. Estas siempre han sido un problema y el hombre siempre les ha temido, de ello hay evidencias en las culturas antiguas que dejaron historia escrita, por ejemplo, en la Biblia en el libro del Éxodo 10 (14-15), textualmente se dice: "... al amanecer, el viento del Oriente había traído las langostas, que invadieron Egipto y se desparramaron por todas las tierras en tal cantidad que nunca habían visto tantas, ni jamás volverán a verlas. Ocultaron la luz del sol y cubrieron todas las tierras; devoraron toda la hierba del campo y todos los frutos de los árboles que el granizo había dejado fueron devorados, no quedó nada verde en todo Egipto, ni de los árboles, ni de la hierba del campo".

Este trabajo trata sobre una plaga en particular: los nematodos en la caficultura, los cuales aún cuando no revisten la trascendencia de la langosta en el texto bíblico, si constituyen uno de los factores que limitan la productividad de este cultivo de exportación. En el caso particular de Guatemala, los géneros problema son *Pratylenchus* spp. y *Meloidogyne* spp. Según ANACAFE (5), estos géneros han ocasionados pérdidas de hasta el 60% de la producción cafetalera en el Suroccidente de Guatemala.

En este trabajo se busca determinar el efecto económico de estos nematodos en la caficultura y para ello se toma como caso de estudio la finca Unión Tacaná. La metodología se fundamenta en una función de respuesta en la cual se relaciona el rendimiento de café con las poblaciones de nematodos y otras variables que describen la finca, tales como textura del suelo, humedad del suelo, edad de las plantas y otras. Con este modelo se busca determinar el efecto de los nematodos en la producción física de café, luego se formula una ecuación para determinar su efecto en las ganancias de la finca.

Cabe indicar que en todos los análisis realizados prevalece un punto de vista económico privado y por tanto, debería llamarse financiero. Los efectos de esta plaga desde una perspectiva de la economía en su conjunto, escapan a este estudio, aunque se generaron elementos que permitirían un posterior análisis sobre este tema, sin embargo, este es otro estudio, que aunque importante, no desarrollamos acá.

La presentación de esta investigación comprende cuatro capítulos, en donde el primero lo representa esta introducción, el segundo, el diseño de la investigación y su contexto de estudio, que considera la definición del problema que originó este trabajo, la justificación, el marco teórico, los objetivos, la hipótesis y la metodología; el tercero, los resultados y finalmente, el capítulo cuarto, con las conclusiones obtenidas y las recomendaciones propuestas.

2. Definición del problema

En la finca Unión Tacaná existe una fuerte heterogeneidad en los rendimientos de sus lotes de café. En 1998 variaron de 131.53 á 874.8 kg pergamino por hectárea. Por otra parte, haciendo una comparación del rendimiento promedio nacional (812.5 kg/ha) con el promedio de la finca (524.86 kg/ha), se puede afirmar que sumado a la fuerte variabilidad los rendimientos son bajos.

Por otro lado, análisis fitopatológicos de los suelos de la finca Unión Tacaná realizados en 1,998, muestran una fuerte incidencia de nematodos de los géneros *Pratylenchus* y *Meloidogyne*, la cual asciende entre 2,000 y 8,900 nematodos por 25 g de raíz, de estos géneros respectivamente.

Para seleccionar un curso de acción para corregir el problema de los bajos rendimientos que ocasionan los nematodos en esta finca, es necesario determinar la relevancia económica que poseen.

Para este propósito, la finca posee una serie de posibilidades de combinaciones de variables que pueden contribuir al análisis de los factores que limitan la productividad del cultivo, tales como la topografía, textura del suelo, sombra del café, variedades de café, altitud y efecto o daño causado por los nematodos.

El cultivo de café constituye una de las principales fuentes generadoras de divisas que posee Guatemala. Adicionalmente posee relevancia económica por su generación de empleo rural y por su contribución al mantenimiento boscoso del país.

En la actualidad, la producción de este cultivo experimenta una de las más duras crisis de precios, lo cual motiva una búsqueda de alternativas para desarrollar mayor competitividad.

Sumado a esta crisis, el cultivo también padece de serios problemas fitopatológicos que reducen su productividad e incrementan los costos de producción, deteriorando con ello la competitividad del país en el mercado internacional.

De acuerdo con la Asociación Nacional del Café (ANACAFE), los nematodos representan uno de los principales factores que limitan la productividad de este cultivo. En este sentido, se ha observado que los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus* afectan al 20% de los cafetales del Sur y Suroccidente de Guatemala y producen pérdidas en los lotes afectados de hasta un 60% de la producción (5).

Este estudio busca analizar la problemática de los nematodos en la caficultura, y para ello se toma el caso de la finca Unión Tacaná la cual constituye un caso típico de este problema en el Suroccidente de Guatemala, y que puede producir resultados válidos para nichos ecológicos y socioeconómicos similares.

Por otra parte, este caso de estudio representa una oportunidad para el desarrollo y adaptación de metodologías de investigación y análisis de problemas del campo de la economía de la protección de plantas.

3. Marco teórico

3.1 Marco conceptual

3.1.1 Descripción botánica y sistemática del café (*Coffea arabica* L.)

El café pertenece a la familia Rubiaceae, a la cual pertenece el género *Coffea*, establecido por De Jussieu, citado por Coste (8) en 1735. El profesor Augusto Chevallier (8) cita alrededor de setenta especies en su agrupación sistemática (1929). Más tarde esta cifra aumentó con varias especies descubiertas en todo el mundo, especialmente en Madagascar, y es probable que las investigaciones futuras permitan enriquecer aún más este inventario.

Sean cuales fueren los recursos de la flora silvestre, se puede considerar que se explotan en todo el mundo fundamentalmente dos especies: *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* P. Son menos utilizadas las especies: *C. liberica* Bull ex Hiern; *C. abeokuta* Cramer; *C. dewevrei* de Wild y Durand; *C. eugeninoides* Moore; *C. senophylla* G. Don; *C. congenis* Froh (8).

El *Coffea robusta* muy extendido, se considera en general una variedad o forma del *C. canephora*; en cambio el *C. excelsa*, muy conocido en Africa Central, sería según A. Chevallier citado por Coste (9) una de las numerosas razas del *C. dewevrei* de Wild & Durand.

En Guatemala, según (ANACAFE) (5), la especie comercial que se cultiva es la *C. arabica*. A nivel mundial también es la más importante, observándose que más del 70% de la producción proviene de ella.

Según Coste (8) la especie *C. arabica*, que con su antigüedad es la más extendida en todo el mundo, presenta las características siguientes: "arbusto de hoja perenne, de 8 a 10 m de altura, ramas opuestas, largas, flexibles, muy delgadas, de aspecto semi-erecto cuando son jóvenes, ensanchado y decaído en la edad adulta. Hojas opuestas, ovaladas, acuminadas, de peciolo corte borde ondulados y superficie brillante, ligeramente abarquillada; longitud de 10 a 15 cm, ancho de 4 a 6 cm. Sus flores son blancas de perfume ajazminado, agrupadas en la axila de las parejas de hojas, en cimas de 2 ó 3, constituyendo verticilos de 8 a 15 flores, cada flor sujeta por un corto pedúnculo y un cáliz compuesto de 5 pequeñas brácteas, recubre el ovario. Corola formada por un largo tubo que es ensanchada en cinco lóbulos (seis en raras ocasiones), muy estrechos. Estambres soldados a los pétalos, anteras alargadas; pistilo formado por largo estilo y dos finos estigmas dominando la corola. El ovario de una drupa, llamada corrientemente cereza, ovoidea, subglumosa, roja, si está madura, de 10 a 15 mm de diámetro por 16 a 18 de largo, constituida por un exocarpio (piel) coloreado, un mesocarpio carnoso y blanco-amarillento (pulpa) y dos semillas unidas por sus caras planas. Cuando uno de estos dos óvulos aborta, el otro se desarrolla dando una semilla ovoidea, conocida comercialmente con el nombre de caracolito. Cada grano está protegido por dos envolturas, la primera, el endocarpio, es delgada y de textura esclerosa (parche), la segunda, el perispermo, es una membrana muy fina (película o película plateada) más o menos adherida al grano. La semilla es de color gris-amarillenta o gris pizarra, más o menos azulado o gris verdoso, según las variedades, el modo de preparación, el medio y el tiempo de conservación. Está formada por un albumen córneo, de superficie lisa, cuya cara plana está hendida siguiendo el eje mayor por un surco más o menos rectilíneo. El embrión es corto y está situado en la base; comprende una radícula cónica y dos cotiledones cordiformes".

Está especie, por su naturaleza es una planta autógena (autofecunda), tiene unas características respectivamente homogéneas. Sin embargo, ha dado lugar al nacimiento de cierto número de variedades e híbridos, tipos y cultivos regionales que indican la influencia que indudablemente ejerce el ambiente (8).

3.1.2 Principales variedades que se cultivan en Guatemala

A. *Coffea arabica* var. *typica* L.

Es un cafeto de porte alto, puede llegar a medir de 3.5 á 4 m de altura; tronco vertical único en la mayoría de los casos, con verticales secundarias que nacen de los nudos. Las ramas laterales son abundantes, forman ángulos entre 50 y 70° con respecto al eje central vertical; esta abertura le da una forma ligeramente inclinada. Las hojas son oblongas, elípticas con la base y el ápice agudos, de textura lisa; los brotes u hojas nuevas terminales son de color bronceado (5).

B. *Coffea arabica* var *bourbon* (B. Rodr) Choussy

Cafeto de porte alto con ramas secundarias más abundantes que la variedad *typica*; sus ramas laterales tienen un ángulo más cerrado, con entrenudos cortos y mayor cantidad de axilas florales. Las hojas son más anchas que la *typica* y sus bordes son más ondulados, el fruto es de menor tamaño y un poco más corto. Esta variedad posee mayor vigor, mejor conformación y mayor número de yemas florales que la *typica*. Según

ANACAFE (5), a finales de los años cuarenta y principio de los cincuenta en Guatemala, vino a sustituir a la variedad típica gradualmente en gran parte del área nacional de café.

C. *Coffea arabica* var. maragogype

Es una mutación de la típica descubierta en Bahía, Brasil en 1860, es de mayor altura que las variedades típica y bourbon; sus ramas laterales forman un ángulo aproximado de 65° con respecto al eje principal. Los frutos tienen lo que comúnmente se denomina ombligo salido. Sus semillas son de mayor tamaño que las de la típica, pero su producción es muy baja (5).

D. *Coffea arabica* var. caturra

Según ANACAFE (5) fue introducida en la década de los cuarenta a Guatemala. Esta variedad fue descubierta en el estado de Minas Gerais, Brasil. Es una mutación de bourbon, es un café de porte bajo, su eje principal es grueso, poco ramificado, con ramas secundarias abundantes y entrenudos cortos. Sus hojas son anchas y grandes, de textura un poco áspera, con bordes ondulados y brotes de color verde. El verde de sus hojas es más oscuro que las de la variedad bourbon, también son más grandes y gruesas. Su silueta es ligeramente angular y el aspecto del café es compacto y de buen vigor. Esta variedad es de alta producción, pero necesita un buen manejo y fertilización.

E. *Coffea arabica* var. mondonovo

Es originaria del municipio de Urepés que antes se llamaba mondonovo, Sao Paulo, Brasil. Es una hibridación del cultivar Sumatra y la variedad bourbon. Es un café de porte alto, con gran vigor vegetativo y gran productividad; sus ramas forman un ángulo de 45° con respecto al eje central. Esta variedad se cultiva en todo el país con preferencia en la zona central y el Oriente, con limitaciones de lluvia. Este material funciona mejor con un déficit hídrico (5).

F. *Coffea arabica* var. catuaí

Esta variedad se originó en el Instituto Agronómico de Campinas en Sao Paulo, Brasil en 1949, es el resultado del cruzamiento intervarietal de mondonovo y caturra. Es un café de porte bajo, y su silueta es cilíndrica; la copa aunque más angosta en la base, no acusa una punta sino un cono comprimido. El fruto no se desprende fácilmente de la rama.

G. *Coffea arabica* var. pacas

Se originó en El Salvador; es una mutación del bourbon muy parecida al caso de caturra, con cuyo café tienen características similares. Es de porte bajo; sus entrenudos son cortos, ramas secundarias y follaje abundante. Responde muy bien a condiciones de suelo arenoso y regiones relativamente secas donde otras variedades se resienten. Sus producciones son relativamente altas y estables, y se mantiene bajo condiciones adversas sin deterioro del café (5).

3.1.3 Prácticas de manejo de la plantación

3.1.3.1 Manejo de árboles de sombra

En el manejo de la sombra se realizan tres tipos de poda: la poda de formación, la poda general de árboles de sombra y la poda de mantenimiento y regulación.

La poda de formación se realiza cuando los árboles aún son jóvenes (5 a 8 años), formando una estructura adecuada con un solo tronco de 2 a 4 m y luego la copa necesaria; esto se hace con el objeto de que las ramas de los árboles de sombra no estorben a las plantas de café, ni la libre circulación dentro del cafetal (8).

La poda general de árboles de sombra se realiza al inicio de las lluvias, pues esta época influye en el rendimiento del cafeto, aumentándolo; esta práctica tiene el objetivo de tener una maduración más uniforme en cosecha, también permite dejar el cafetal expuesto a la luz solar durante el período lluvioso, logrando mayor eficiencia en el aprovechamiento de fertilizantes, así como evitar el incremento de poblaciones de algunas plagas. Al mantener mayor iluminación y ventilación en las plantaciones de café, crea condiciones adversas al desarrollo de algunas enfermedades (5).

Por último, la poda de mantenimiento o regulación se realiza para proyectar suficiente luz y dar una buena distribución de la misma dentro del cafetal, por lo que debe orientarse a descubrir el centro de la copa. Según ANACAFE (5), se debe calcular de un 20 a 40% de sombra, dejando un estrato de ramas horizontales alrededor del árbol, a una altura de 2 a 3 m sobre el nivel superior de los cafetos. El porcentaje de sombra va en relación a los demás factores de la producción: la fertilización, el manejo del tejido productivo, el control de plagas, enfermedades y malezas. Si hay zonas de crecimiento vegetativo y regeneración rápida, se debe repasar en el mes de septiembre.

3.1.3.2 Manejo de tejido en el cafeto

Durante los últimos 25 años se usa con más frecuencia el término de manejo de tejido, en sustitución de podas. La poda tiene como finalidad dar al cafeto un armazón robusto, y equilibrado, además de estimular el desarrollo plagiotrópico u ortotrópico de la planta (8).

Según ANACAFE (5), en Guatemala se realizan dos tipos de poda: la poda baja ó recepa y la poda alta ó descope.

La poda baja o recepa consiste en podar el cafeto a una altura de 25-35 cm del nivel del suelo, con el fin de provocar la emisión de nuevos brotes que habrán de reemplazar al tallo cortado. Según trabajos de investigación de ANACAFE (5), esta altura en cuestión es lo más conveniente por las siguientes razones:

- A. Da una altura suficiente de tejido vegetativo con abundantes yemas para producir brotes.
- B. Con mayor altura hay mucho más brotes, con frecuencia de 25, la cual es innecesario para llegar a seleccionar sólo unos tres.
- C. Con esta altura después de varias recepas se puede y conviene continuar en el tejido nuevo arriba de las recepas anteriores.
- D. Se reduce el tamaño y el área del tronco viejo.

La poda alta o descope consiste en suspender el desarrollo vertical u ortotrópico del cafeto, mediante la poda ejecutada a una altura de 1 m para variedades de porte bajo y a 1.2 m para variedades de porte alto, con el propósito de estimular el crecimiento plagiotrópico y ortotrópico, en ramas secundarias y terciarias; así como la formación de un segundo estrato de producción (5).

3.1.3.3 Fertilización

Todo programa de fertilización para café debe de realizarse partiendo de un muestreo de suelos y foliar, para conocer el nivel de fertilidad del suelo y el estado nutricional de las plantas, de acuerdo a su edad; es recomendable que se haga antes de fertilizar (5).

De acuerdo con la Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café, Procafé (13), las bases para una fertilización adecuada son las siguientes: diagnóstico del cafetal para determinar las condiciones del estado del suelo o del cultivo, muestreo de suelo y foliar, programa de fertilización del suelo basado en saturación de bases y niveles críticos, aplicación oportuna y apropiada de insumos (fertilizantes y enmiendas orgánicas), fertilización foliar basada en los niveles críticos y planta libre de plagas, principalmente del sistema radicular.

Los criterios para la fertilización de cafetos están dados por los niveles críticos y la saturación de bases. El nivel crítico es cuando un elemento se encuentra en niveles deficientes en el suelo y no se encuentra en un estado aprovechable para la planta. Y la saturación de bases, consiste en mantener una adecuada relación entre las bases calcio, magnesio y potasio (13).

Catani, citado por Coste (8), refiere las cantidades de sustancias fertilizantes utilizadas por una hectárea de cafetos (*Coffea arabica* L): N: 94.7 kg; P₂O₅: 14.4 kg; K₂O: 116.8 kg; CaO: 76.7 kg; MgO: 25.1 kg. El mismo autor cita que la producción de 1,000 kg/ha de frutos precisa de la absorción de: N:15 kg; P₂O₅: 2.5 kg; K₂O: 24.0 kg; CaO: 2 kg; MgO: 1.0 kg. En cambio, J. Foriestier citado por Coste (8) da las siguientes cifras para una producción de 1,000 kg de café comerciable: N:30 kg; P₂O₅:3.75 kg; K₂O:36.5 kg.

ANACAFE (4) recomienda que, para aplicar nitrógeno, fósforo y potasio a los suelos se usen fuentes simples de nitrógeno, tales como la urea y el sulfato de amonio y fórmulas compuestas como el NPK. Entre las formulaciones que más se utilizan en plantaciones establecidas y en distintas condiciones de suelo están: 15-15-15, 20-20-0, 18-6-12, 21-7-14 y 20-10-10; algunas veces con otros elementos secundarios y menores. Cuando se establezca el programa de fertilización con base en los análisis, se debe decidir la época de aplicación: mayo-junio, agosto-septiembre y octubre-diciembre, u otras épocas.

3.1.3.4 Métodos de control de malezas

Se consideran malezas a aquellas plantas que se desarrollan dentro del área del cultivo que se está explotando y son ajenas a este.

Los métodos más utilizados para el control de malezas son los siguientes: control cultural, control biológico, control mecánico y control químico.

El control cultural son todas aquellas prácticas culturales que se realizan con eficiencia, tales como: densidad de siembra, distanciamiento, cobertura de suelo y otras que aseguren el desarrollo vigoroso del cultivo y que le permita interferir o competir favorablemente con las diferentes especies de malezas (5).

El control biológico es el ejercido por los llamados enemigos naturales, los tales pueden ser insectos, hongos, virus, algunas especies animales y algunas especies de malezas (nobles), que restringen el desarrollo de plantas indeseables (5).

El control mecánico es la eliminación de malezas, utilizando herramientas tradicionales como el machete, azadón y otras.

El control químico es referente al empleo de productos agroquímicos conocidos como herbicidas, para reducir el crecimiento y población de malezas.

Según ANACAFE (5), para condiciones de Guatemala, se recomienda la combinación de métodos de control de malezas. El control mecánico, se adapta muy bien a zonas con abundante mano de obra. Además estas limpias son vitales para la protección y conservación de los suelos en los terrenos inclinados. El control químico tiene su aplicación práctica y económica, en suelos planos, ligeramente onduladas, con moderada inclinación y con prácticas de conservación de suelos.

3.1.3.5 Las enfermedades del cafeto

Las enfermedades más comunes en la región cafetalera de Guatemala se presentan en el cuadro 1.

Las enfermedades más importantes según ANACAFE (5), por su severidad en Guatemala son la roya, el mal de talluelo, el ojo de gallo, el koleroga y la antracnosis.

3.1.4 Los Nematodos

Los nematodos son organismos de Reino Animal, generalmente microscópicos y con apariencia de pequeñas lombrices, que ya se alimentaban de raíces hace millones de años, en una relación de equilibrio. Posteriormente, al surgir y desarrollarse la agricultura, algunos grupos de nematodos se fueron adaptando paulatinamente a ciertos cultivos, llegando a provocar daños importantes bajo condiciones de suelo y clima que le son favorables. Los nematodos se pueden encontrar en cualquier nicho ecológico que pueda propiciar la vida incluyendo desiertos, el fondo del mar, los hielos del Antártico y manantiales termales (14).

Agrios (1) cita que los nematodos tienen aspecto vermiforme pero taxonómicamente son bastante distintos a los gusanos. La mayoría de las miles especies de nematodos viven libremente en aguas saladas o dulces, o bien en el suelo, alimentándose de plantas y animales microscópicos. Numerosas especies de ellos atacan y parasitan al hombre y a los animales, produciendo diversas enfermedades. Sin embargo, se sabe que varios centenares de sus especies se alimentan de plantas vivas, provocándoles también muchas y diversas enfermedades.

Thiohod (21) define a un nematodo fitoparásito como aquel que obtiene su alimentación de plantas vasculares; puede estar provisto de estomatoestilete (presenta nódulos basales y está conectado al bulbo medio), odontoestilete (no presenta nódulos basales y es más grueso que el estomatoestilete) u onquioestilete. Pueden ser polípagos ó asociados a hospederos específicos. Este grupo de nematodos puede ser dividido en ecto, endo y semiendoparásitos sedentarios y migratorios, que se alimentan de las células epidérmicas de raíces de plantas, cortex, endodermis, periciclo y cilindro central, este grupo también se alimenta de algas y líquenes.

Cuadro 1. Principales enfermedades que afectan al café en Guatemala

Nombre de la enfermedad	Patógeno que lo causa	Parte de la planta que afecta
Roya del cafeto	<i>Hemelia vastatrix</i> Berk & Broome	Haz y envés de la hoja
Mancha de hierro	<i>Cercospora coffeicola</i> Berk & Cooke	Haz de la hoja
Koleroga o mal de hilachas	<i>Pellicularia koleroga</i> Cooke	Hojas, ramas y frutos
Ojo de gallo	<i>Mycena citricolor</i> (Berk & Curt) Sacc.	Haz y envés de la hoja
Poma o derrite	<i>Phoma</i> sp.	Apice de las hojas
Mal rosado	<i>Corticium salmonicolor</i> Berk & Broome	Follaje y tejido leñoso
Cáncer del tronco	<i>Ceratocystis fimbriata</i> (Elliot & Halts) Hunt	Tejido leñoso
Mal de talluelo	<i>Rhizoctonia solani</i> Kuehn, <i>Pythium</i> spp., <i>Fusarium</i> spp.	Base del tallo
Antracnosis	<i>Colletotrichum coffeanum</i> Noack	Parte terminal de las ramas
Pudricción negra de la raíz	<i>Rosellinia bunodes</i> Berk et Br. Sacc., <i>R. Necatrix</i>	Sistema radicular

Fuente: Asociación Nacional del café (ANACAFE), Manual de caficultura, 1,998.

3.1.4.1 Anatomía de los nematodos

La Academia Nacional de Ciencias (14) describe que la mayoría de especies de nematodos encontradas en el suelo son pequeñas, usualmente de 1 a 2 mm de largo y 1/20 mm o menos de ancho. Estos nematodos son simétricos bilateralmente, casi de tamaño microscópico; aunque complejos en su organización. Posee todos los sistemas fisiológicos principales de los animales superiores, excepto el circulatorio y respiratorio. Las especies parásitas de plantas son pequeñas; su longitud varía de 0.5 a 3 mm y su ancho 0.01 a 0.5 mm. Casi todos, son cilíndricos y delgados, adelgazándose hacia la cabeza y la cola, aunque las hembras de algunas especies parásitas de plantas tienen formas variadas, como de pera, limón o de riñón. En general, los nematodos que viven en el suelo son semitransparentes.

Rodríguez (17) describe que el cuerpo del nematodo es simple, con una pared exterior fuerte que consta de cutícula, hipodermis y una capa muscular. Posee un juego de músculos longitudinales conectados a la pared del cuerpo y coordinado por un sistema nervioso que provee la fuerza para el movimiento.

Subyaciendo y dentro de la cutícula, está la hipodermis la cual es una delgada capa unicelular. Dicha hipodermis penetra lateral, dorsal y ventralmente dentro de la cavidad del cuerpo produciendo protuberancias longitudinales llamadas cuerdas (14).

Los nematodos poseen dos tipos de músculos, los músculos somáticos y los músculos especializados. Los primeros se presentan en forma de capa, con células longitudinales, situados debajo de la hipodermis, entre las cuerdas. Los especializados están conectados con el estilete, intestino y órganos de reproducción (14).

Rodríguez (17), cita que el sistema excretor varía en estructura hasta llegar a estar ausente en algunos de Dorylaimida. En la clase Adenophorea el sistema excretor consiste de una célula glandular excretora localizada en la cavidad del cuerpo en la región del esófago (célula rene o renete). Esta célula rene puede ser grande o pequeña y tener en el primer caso un conducto corto, pero en todo caso se conecta con el poro excretor que se abre en posición ventral, en la par del anillo nervioso. El conducto no está revestido de cutícula, salvo en la familia Plectidae. En la clase Sercentea el sistema excretor es tubular y pluricelular, con la porción terminal del conducto revestida de cutícula.

El sistema digestivo es tubular y está dividido en tres principales regiones: esófago, intestino y recto. El orificio oral anterior es terminal y casi siempre está rodeado por varios tipos de estructuras de labios y órganos sensoriales (papilas) (14).

Las formas parásitas de las plantas poseen un estilete, el cual en general está hueco y se usa para penetrar y alimentarse de las células de las plantas. La mayoría de los nematodos son miembros del orden taxonómico Tylenchida, un grupo caracterizado por un esófago formado de tres partes. En la mayoría de las especies de dicho orden, la región esofágica situada detrás del estilete (el procorpus) es delgada, y la región media (metacarpus o región bulbar media) es más gruesa y contienen un aparato valvular cuticularizado, el cual parece funcionar como una bomba. Detrás del metacarpus, el esófago se estrecha hasta un istmo más angosto, terminando en una región glandular. En general tiene tres glándulas esofágicas, una dorsal y dos subventrales, aunque pueden existir hasta seis en algunos nematodos, como los del género *Hoplolaimus*. En dos grupos del orden Tylenchida (superfamilias Tylenchidea y Criconematoidea), las glándulas subventrales se abren hacia el lumen mucho más adelante, casi posteriormente del estilete. En la tercera superfamilia (Aphelenchoidea), las tres glándulas se abren en el lumen, cerca de la válvula esofágica (14).

Algunos nematodos parásitos de plantas que son transmisores de virus pertenecen a otro orden, el Dorylaimida. Los nematodos de este orden tienen un esófago formado de dos partes, consisten de una región anterior delgada conectada con otra región glandular más corta e hinchada. Algunos nematodos de este grupo son los que tienen forma de daga (*Xiphinema spp.*) y (*Longidorus spp.*), y forma de diente (onquiostilo) (14).

Agrios (1) cita que los sexos son separados en la mayoría de nematodos, las hembras generalmente son más grandes que los machos y los adultos de ambos sexos tienen diferencias morfológicamente distinguibles. Las gónadas en las hembras de 1 ó 2 tubos elongados, estos tubos pueden ser más largos que el cuerpo del nematodo, enrollados o doblados hacia atrás, la pared de la gónada es simple capa de células planas formando un tubo con varias regiones distintas. En la parte lejana, está el ovario, lugar de la división celular y formación del oocito. La región de división celular (zona germinal) contiene pequeñas células llamadas oocitos: estas se agrandan y en la zona de crecimiento acumulan la maquinaria celular para la formación del embrión. La gónada se angosta en la siguiente sección (oviducto), está conectada al ovario con el útero, una región con mayor diámetro. Entre el oviducto y el útero puede haber una estructura como bolsa llamada espermateca, donde los espermatozoides son almacenados. El útero se acomoda lleno de huevos formados. Del útero, un músculo corto llamado vagina, conduce a una abertura ventral a través de la pared del cuerpo llamada vulva. Cuando una hembra tiene un solo ovario se le llama monodélfica, si tiene dos ovarios, didélfica. Ambos ovarios pueden proyectarse uno hacia delante y otro hacia atrás, denominándose anfidélfica. Si se proyectan solo hacia delante se llaman prodélficas y si es solo hacia atrás se llama opistodélfica. En el caso de los machos, la mayoría de fitoparásitos de la clase Sercentea tienen un solo testículo (monórquidos) excepto el género *Meloidogyne* que posee uno o dos y están dirigidos hacia delante (diórquidos) (17).

3.1.4.2 Ciclo vital

La Academia Nacional de Ciencias (14) cita que no existe una verdadera metamorfosis en los nematodos. Los jóvenes o larvas son más pequeños, pero se parecen a los adultos. Hay cinco estados en el ciclo vital. Dentro del huevo, el embrión en desarrollo crece, se alarga y diferencia, para llegar a su primer estado larvario. En la mayoría de las especies, este primer estado continúa para desarrollar y pasar el segundo estado, cuando todavía está dentro del cascarón.

Según Agrios (1) en este segundo estado emergen del huevo. Después de salir, se alimentan, desarrollan y mudan dos veces más, mientras pasan por el tercero y cuarto estado larval, para llegar a ser un adulto desarrollado por completo. Existen excepciones a este ciclo.

Agrios (1) menciona que en algunas especies de nematodos, la primera o segunda etapa larvaria no puede infectar a las plantas y sus funciones metabólicas se realizan a expensas de la energía almacenada en el huevecillo. Sin embargo, cuando alcanzan las etapas infectivas, deben de alimentarse de un hospedante susceptible o de lo contrario sufren inanición y mueren. Al cabo de unos cuatro meses, la ausencia de hospedantes apropiados ocasiona la muerte de todos los individuos de ciertas especies de nematodos, pero en otras especies las etapas larvarias pueden desecarse y permanecer en reposo, o bien los huevecillos pueden permanecer en reposo en el suelo durante años.

La Academia Nacional de Ciencias (14), basándose en los hábitos de vida, clasifica a las especies parásitas de plantas en dos grupos: endoparásitos y ectoparásitos. Por lo común, las que viven en el suelo, terminarán su ciclo vital completo en el suelo, dentro o cerca de las raíces de las plantas. Los parásitos de la superficie, pueden empezar su ciclo sobre el suelo o en las capas superficiales de poco espesor, con frecuencia en los residuos de plantas huésped; luego ascienden hacia la planta o atacan las plántulas en desarrollo, y maduran sobre el suelo. Se sabe que atacan a troncos, tallos, peciósos, hojas, flores y semillas.

3.1.4.3 Ambientes de los nematodos fitoparásitos

Alvarez y Samayoa (2) citan que los nematodos fitoparásitos tienen dos nichos ecológicos: el suelo y la planta. En el suelo son semiacuáticos, necesitan de una película de agua. Por lo que la textura y estructura que determinan la retención de agua, afectarán su vida. Los nematodos se mueven en el suelo por sí mismo activamente, otros casi no tienen movimiento. Pero en forma pasiva se mueven por corriente de agua, aire y otros organismos o materiales que se trasladan. Las partículas de suelo finas como arcillas afectan el movimiento de los nematodos, pero en suelos arenosos no existe problema, aunque si son muy bien drenados se secan fácilmente, pueden mermar las poblaciones.

La materia orgánica provee a los suelos propiedades detrimentales a los nematodos, puesto que aumentan los enemigos naturales y cambia el microclima del suelo. La mayoría son activos a partir de los 5°C y mueren a los 48°C si se exponen 30 minutos. La luz es poco importante. En el suelo compiten con individuos de la misma especie por sitios de penetración y/o alimentación o bien tienen enemigos naturales como bacterias, rickettsias, hongos, protozoarios, collémbolos, virus, tisanuros, oligoquetos y nematodos nemafofos (2).

3.1. 4. 4 Clasificación de los nematodos

Los nematodos en las plantas encontramos principalmente afectando las raíces, pero existen unas especies que afectan los tallos, flores, frutos y semillas, es decir, nematodos de las partes aéreas. Por su hábito de alimentación en la planta los nematodos se agrupan en diferentes categorías.

Según Rodríguez (17), la clasificación de nematodos en especie y géneros está basada en diferencias visibles en estructuras observadas al microscopio de luz. Los nematologos intentan desarrollar esquemas de clasificación que representan relaciones evolucionarias del grupo. Las marcas superficiales de la cutícula y las estructuras internas forman las bases para la separación de especies.

Agrios (1) cita que todos los nematodos fitoparásitos pertenece al Phylum Nematoda. La mayoría de los géneros importantes, al orden Tylenchida, pero algunos pertenecen al orden Dorylaimida.

El autor también cita de que el orden Tylenchida está dividido por dos subórdenes: Tylenchina y Aphelenchina. Los miembros del suborden Tylenchina tienen un estilete con nódulos basales conspicuos y el conducto de la glándula dorsal esofágica se une al lumen de la laringe pegado a la base del estilete. El lumen del esófago aparece con el conducto de la glándula. En cambio, miembros del suborden Aphelenchina tienen un estilete con pequeños nódulos o sin nódulos, y el conducto de la glándula dorsal se vacía en el interior del lumen del metacorpus (bulbo medio), justamente antes de los platos crecientes. El lumen esofágico del procorpus aparece como un tubo recto sin curva detrás (abajo) del estilete.

Los ectoparásitos se alimentan dejando el cuerpo fuera, se aproximan a los tejidos al azar o se localizan en sitios donde se fijan los labios y encaja el estilete (estomatoestilete u odontoestilete) profusible y absorben el alimento, mediante contracciones del esófago, como los géneros *Trichodorus*, *Longidorus*, y *Xiphinema* (2).

Según Alvarez y Samayoa (2), por su tipo de alimentación, los nematodos se clasifican en ectoparásitos, endoparásitos, parásitos migratorios y endoparásitos sésiles. Dentro de los endoparásitos que penetran completa o parcialmente su cuerpo en el tejido vegetal, se tiene a los migratorios sésiles. Los endoparásitos migratorios se caracterizan por migrar dentro y fuera de la planta. Los endoparásitos sésiles permanecen pequeña parte de su vida fuera de la planta, pero una vez dentro de la planta se vuelven sedentarias para completar su desarrollo y presentan polimorfismo sexual.

3. 1. 4. 5 Distribución de los nematodos

Goodell citado por Salatiel (19), relata que la distribución de nematodos es influenciada por diversos factores, teniendo mayor importancia la asociación con sus fuentes de alimentación, y con la microbiota del suelo.

Began *et al.* citado por Salatiel (19), afirma que existen tres tipos de distribución:

- a. Aleatoria. Donde cada organismo tienen igual probabilidad de ocupar cualquier punto en el espacio y la presencia del individuo no interfiere la presencia de otro.
- b. Distribución regular. Ocurre cuando cada individuo puede influenciar o anular la presencia de otros individuos.
- c. Distribución agregada. Los individuos permanecen agregados en determinadas partes del ambiente y su presencia puede atraer otros individuos para el mismo lugar.

El patrón espacial de distribución presenta componentes de macrodistribución y microdistribución. La macrodistribución se mide por variables como: extensión del tiempo en que la población ha estado en el ecosistema, variación de factores en el hábitat (suelo, humedad, etc.) y la selección de varias plantas hospederas (21).

La microdistribución, está fuertemente ligada a la historia de vida de la población y la estrategia de alimentación, y sus hábitos alimenticios. Los nematodos ectoparásitos invierten una parte de su energía en su locomoción y selección de sitios de alimentación, resultando en un patrón de distribución agregada (21).

Los nematodos endoparásitos sedentarios depositan sus huevos en un mismo lugar, frecuentemente en masas, resultando un patrón espacial altamente agregado (2).

3.1. 4. 6 Distribución vertical de los nematodos

La Academia Nacional de Ciencias (14) cita que la distribución vertical de los nematodos en suelos cultivados es irregular, pero en estrecha relación con la distribución de las raíces de las plantas y el área adyacente a dichas raíces, la cual es llamada rizósfera. Debido a que el movimiento de los nematodos en el suelo está limitado casi a unos cuantos metros por año, es obvio que su número es mayor en suelos que contienen raíces que en suelos sin ellas, lo cual está correlacionado con la distribución de raíces de huéspedes presentes. Los nematodos se concentran sobre todo en los 30 cm superficiales del suelo; se ha estimado que en los 2.5 cm superficiales en una hectárea existen casi hasta 6,000 millones de estos organismos. Existe muy poca información sobre su distribución a mayor profundidad de 30 cm; sin embargo, un nematodo nódulo radicular (*Meloidogyne incognita*), se ha encontrado a una profundidad máxima de 5 m en viñedos.

3. 1. 4. 7 Poblaciones de nematodos

En suelos agrícolas, el límite superior de la población para cualquier especie de nematodos parásita de plantas, depende de su potencia reproductora, de la especie planta huésped y de la duración del período en que el nematodo permanece en un medio ambiente favorable para la reproducción. En general, la potencia de reproducción de los endoparásitos y de parásitos superficiales, es mayor que el de muchos ectoparásitos (14).

Agrios (1) afirma que la importancia del nematodo como parásito de una planta depende, en gran parte, de sí el límite de la población excede o no el nivel al cual los perjuicios económicos se presentan en dicha planta. Este concepto de umbral de población, en la cual principia la pérdida en rendimiento, se usa con frecuencia en conexión con plagas de plantas, para determinar el nivel de tolerancia de una planta huésped. Para cualquier grupo de condiciones ambientales, cada planta huésped tiene su propio nivel de tolerancia para una especie de nematodo. De esta manera, un nematodo causa perjuicios económicos sólo si su densidad de población excede el nivel de tolerancia de la planta cultivada en el terreno. Las estimaciones del umbral de una población varía según las estaciones climáticas y la textura del suelo. Un claro entendimiento de las poblaciones de nematodos es importante para su control.

3. 1. 4. 8 Temperatura

La temperatura afecta las actividades de los nematodos, tales como la oviposición, reproducción, movimiento, desarrollo y supervivencia. Afecta también a la planta huésped. Casi todos los nematodos parásitos de plantas se tornan inactivos en una gama de temperaturas bajas (entre 5 a 15°C); la gama óptima es entre 15 y 30°C y de nuevo se vuelven inactivos en una gama de alta temperatura como de 30 a 40°C. Las

temperaturas fuera de estos límites pueden ser fatales. Sin embargo, las temperaturas no limitan el establecimiento de algunos nematodos (14).

3. 1. 4. 9 Humedad

La fluctuación de la humedad del suelo debida a la lluvia o al riego, constituye uno de los factores principales que influyen en los aumentos de población de los nematodos. Cuando el suelo está seco, puede disminuir el número de los nematodos. No todos los nematodos mueren, aunque las condiciones de sequía pueden deprimir su actividad y las poblaciones resultantes. Los huevos de la mayoría de nematodos sobreviven a la sequía, así como también otros estados de los nematodos como el del preadulto del nematodo alfiler (*Pratylenchus* spp.). El barbecho en seco puede no ser una medida práctica de control, excepto en algunas regiones áridas y calientes, donde sí reduce el número de nematodos, de tal manera que posible obtener una cosecha provechosa (14).

Los suelos saturados no son favorables a las plantas con ataque de nematodos. En las zonas tropicales lluviosas y en los terrenos anegados, el número de algunas especies de nematodos de nódulos radiculares, quiste, del raquitismo y alfiler se han reducido por el exceso de agua, falta de oxígeno y toxinas producidas por organismos anaeróbicos (14).

Se cree que los nematodos siempre están activos en suelos que tienen un contenido de humedad de 40 a 60% de su capacidad de campo. Debido a que las propiedades de aireación del suelo se deben a la relación entre la humedad del mismo y su estructura, el nivel de oxígeno puede ser el factor fundamental que tiene influencia sobre algunas actividades de los nematodos. Según la Academia Nacional de Ciencias (14), algunos nematodos parásitos de plantas, parece que son capaces de poseer un metabolismo oxidante así como fermentante, lo cual los capacita para sobrevivir sin oxígeno durante períodos variables. Los bajos niveles de oxígeno pueden inducir la inactividad, y permiten que los nematodos logren sobrevivir. El desarrollo y crecimiento de los nematodos depende del oxígeno disponible, lo cual es importante para determinar los niveles de población; por lo tanto, en general, los altos niveles de poblaciones se encuentran en suelos húmedos, bien aireados.

3. 1. 4. 10 Textura y estructura del suelo

La textura del suelo la constituye el tamaño de las partículas que lo forman. Un suelo de textura gruesa contiene un alto porcentaje de arena y tiene grandes poros que drenan con más rapidez que los pequeños poros de un suelo de textura fina, el cual tiene una alta proporción de arcilla y limo. Debido a la amplia variación de los medios bióticos físicos y químicos dentro de las categorías de texturas, es difícil generalizar con relación al tipo de suelo y la actividad de los nematodos y su distribución. En los suelos arenosos, textura gruesa, se encuentra gran número de nematodos como los siguientes: quiste, nódulo radicular, lesionante y el de las raíces de escobilla (*Trichodorus* spp.) (14).

La velocidad del movimiento de los nematodos dentro del suelo está relacionada con el diámetro de los poros, el tamaño de las partículas, el diámetro del nematodo, su relativa actividad y el grosor de las partículas de agua sobre y entre las partículas de tierra. Un nematodo no se puede mover entre las partículas de tierra cuando los diámetros de los poros son menores que la anchura del cuerpo de nematodo. Cuando los poros del suelo están llenos de agua, los nematodos se mueven con dificultad; cuando la aireación es limitada, se hacen inactivos. En suelos muy secos existe buena aireación, pero no agua suficiente para formar películas así los nematodos no pueden moverse (14).

3. 1. 4. 11 Constitución del suelo

La constitución química de los componentes del suelo, un constituyente principal del medio ambiente del suelo, incluye la salinidad, pH, materia orgánica, fertilizantes, insecticidas y nematicidas. Los nematodos parásitos de plantas tal vez obtienen pocos nutrimentos de los componentes del suelo. La incubación de los huevos y la supervivencia de las larvas pueden ser influidos por varias sales e iones. Durante períodos secos y húmedos, los nematodos del suelo están sujetos a concentraciones variables de sales en la solución del suelo. Sin embargo, pueden tolerar presiones osmóticas hasta de 10 atmósferas, por lo menos durante períodos cortos. La variación del pH entre 5.0 hasta 7.0, tiene poco efecto sobre los nematodos. La cal que se usa con frecuencia para neutralizar la acidez del suelo, no hace disminuir la población de nematodos. Los fertilizante y la materia orgánica, pueden influir sobre las poblaciones de nematodos en forma indirecta, al aumentar el desarrollo de defensas en la planta huésped. En ocasiones, el uso de nematicidas e insecticidas en el suelo puede eliminar algunos enemigos naturales, conduciendo así a un aumento en el número de parásitos de plantas (14).

3. 1. 4. 12 Clima

La lluvia y la temperatura son muy importantes para el crecimiento y desarrollo tanto de los nematodos como de las plantas. En general, a dichos factores se deben las fluctuaciones estacionales en las poblaciones de nematodos, e incluso pueden determinar el hecho de que las especies se puedan establecer en un nuevo hábitat o región. Los factores climatológicos que están relacionados con la humedad ambiental coadyuvan a los nematodos parásitos de la superficie del suelo, los cuales están adaptados para invadir las plántulas y dirigirse hacia arriba hasta la superficie de las plantas cubiertas por películas de agua. Estos nematodos pueden estar sujetos a una severa desecación y a grandes cambios de temperatura, debidos a los cambios en el clima aéreo, que son más violentos que los del clima del suelo (14).

3. 1. 4. 13 El ambiente de la planta

El ambiente de la planta huésped, que consiste, ya sea en la raíz o el tallo y el tejido de las hojas, influye mucho sobre los nematodos endoparasitario. Los tejidos de las plantas que generalmente son atacados son los meristemos del ápice de la raíz, los cuales contienen células de paredes delgadas, y ofrecen un ambiente químicamente rico. La epidermis y la pared de la célula ofrecen barreras mecánicas a la entrada de los nematodos y a su movimiento. El tejido de las plantas protege a los nematodos endoparasíticos del medio ambiente del suelo y es su única fuente de alimentación. Así, la susceptibilidad, tolerancia y resistencia de la planta huésped a los nematodos, dependen de las propiedades de las células y tejidos de las plantas. El periciclo y las áreas afectadas, las cuales están formadas en algunas plantas en respuesta a la alimentación de los nematodos, pueden afectar el desarrollo y reproducción de ellos, debido a que la calidad y cantidad de los nutrimentos son deficientes en esas áreas o los nematodos pueden ser excluidos de células apropiadas por esas áreas (14).

3. 1. 4. 14 La rizósfera

Además de servir como fuente de alimentación para los nematodos, las raíces de las plantas también pueden modificar el ambiente del suelo, disminuyendo la concentración de nutrimentos minerales, agotando la humedad, aumentando el bióxido de carbono, reduciendo el oxígeno y contribuyendo con una variedad de sustancias orgánicas por exudación y desechos de las células. La rizósfera, la zona circundante a las raíces, es un ambiente dinámico, donde con frecuencia las relaciones entre los nematodos, huésped y ambiente son de naturaleza química (14).

Las exudaciones de las raíces y otras sustancias químicas pueden inhibir la incubación o repeler a los nematodos. Se desconoce la composición química de estas exudaciones, de la naturaleza de las reacciones sobre los nematodos, o los receptores en ellos (14).

Los microorganismos que existen en la rizósfera pueden tener influencia preponderante sobre los nematodos en algunas plantas, por antagonismo, por competencia en la alimentación y el oxígeno, o por secreciones que pueden estimular o inhibir a los nematodos. Las interrelaciones para cualquier combinación nematodo-plantas, aún no se conocen por completo (14).

3. 1. 4. 15 Alimentación y daños a las plantas

En la “General Review of Nematology”, citada por ANACAFE (4), se menciona que la manera como los nematodos se proveen de alimento, es orientándose por los anfidios de que están provistos; de esta manera el parásito localiza y se orienta hacia las secreciones de la raíz. Con el estilete que semeja a un agujón perfora la célula inyectando secreciones de la glándula del esófago.

También se cita que los daños comunes se caracterizan por formación de agallas, lesiones y pudriciones de raíces, otras especies atacan hojas, tallos y flores, dando resultado de ello, pudrición, enrollamiento o torsión de las hojas y tallos.

3. 1. 4. 16 Descripción de especies y síntomas de los nematodos que parasitan al cultivo del café (*Coffea arabica* L.)

A) Nematodos de lesión (*Pratylenchus* spp.)

Según ANACAFE (4) estos nematodos provocan profundas lesiones en las raíces; en el punto de la infección se desarrolla una necrosis que se extiende, inicialmente, en la superficie de la raíz, y posteriormente, hacia el interior de la misma. En esta fase, la corteza de las raíces pequeñas es destruida, provocando su separación del cilindro central y con una apariencia de pelos finos. En las raíces más gruesas hay extensas áreas necrosadas, donde se asocian los daños del nematodo y de hongos que han penetrado por las heridas. En general, se observa una importante reducción del sistema radicular y poco crecimiento de la parte aérea del cafeto. Los nematodos del género *Pratylenchus* permanecen siempre móviles y en todos sus estados de desarrollo (larvas y adultos) pueden penetrar la raíz y abandonarla en cualquier momento, lo cual les confiere una alta capacidad de daño.

Agrios (1) describe a *Pratylenchus* sp. de 0.4 a 0.7 mm de longitud con un diámetro de 20 a 25 μ m. Esta especie tiene forma cilíndrica, con cola redondeada. Son endoparásitos migratorios. Su reproducción es lenta y su ciclo de vida se puede completar al cabo de 45 ó 65 días. Las hembras son incapaces de sobrevivir a las lluvias y ovipositan sus huevecillos en las raíces atacadas y luego los libera al suelo. La primera etapa larvaria y la primera muda ocurren en el huevecillo. En la segunda etapa larvaria emerge del huevecillo, se mueve en el suelo o penetra a la raíz, completando su ciclo vital en cualquiera de los casos.

Agrios (1) cita también que las larvas y/o adultos penetran intracelularmente a las raíces cuando introducen su estilete y penetran la cabeza en las células de las raíces. Cuando ocurre esto, las paredes celulares y el citoplasma adherente adquieren un color café claro y se decoloran unas cuantas horas después de la inoculación. Conforme el nematodo continúa alimentándose de células corticales, las paredes celulares se degradan y aparecen cavidades en la corteza, las cuales se encuentran revestidas por depósitos de color café. En cada lesión puede vivir por lo menos un nematodo. Las hembras ovipositan sus huevecillos en la

corteza. Los adultos y larvas forman los nidos. Después de la incubación, los nematodos se alimentan de células parenquimatosas, y se mueven a lo largo del interior de la corteza, extendiendo así la lesión causada, siendo invadida por otros patógenos, tales como hongos y bacterias secundarios, causando pudrición y hasta la muerte de la parte distal de las raíces afectadas, haciendo que disminuya el número de raíces funcionales del cafeto, afectando la absorción de agua y nutrientes, mostrando estos síntomas en los órganos aéreos de la planta.

Las principales especies de *Pratylenchus* asociadas al cafeto según Alvarado (3), son: *P. coffeae*, *P. brachyurus*, *P. panamensis* y *P. gutierrezii*.

B) Nematodos formadores de agallas (*Meloidogyne* spp.)

Según trabajos de investigadores de ANACAFE (5) predominan especies muy agresivas de este género (*Meloidogyne exigua* y *M. incognita*) sobre el cafeto. Se cita también que *Meloidogyne incognita* y otras especies afines, no caracterizadas, provocan una fuerte destrucción de la cabellera radicular, imposibilitando la formación de nuevas raíces. Su alta persistencia en el suelo y la baja eficiencia del control químico hace de este nematodo un factor extremadamente limitante para el establecimiento de nuevos cafetales, así como para la producción y mantenimiento de los ya existentes.

Su ataque en el campo se presenta en parches, las plantas muestran un color amarillamiento, entrenudos cortos, bandolas secas y defoliación. Debido al daño en las raíces, las plantas tienen poca capacidad para soportar períodos prolongados de sequía y otros factores adversos. En el laboratorio, dependiendo del ataque, pueden ser extraídos más de 80,000 nematodos por 25 g de raíz (5).

Las hembras están dentro de la raíz y ponen sus huevos en una masa gelatinosa, que los protege de condiciones adversa (sequía, tratamientos de nematicidas), esperando el retorno de las condiciones favorables para completar su ciclo. Una sola hembra puede ovopositar entre 1,000 y 2,000 huevos, incluso más, lo cual da idea del potencial reproductivo de este nematodo (5).

Alvarado (3), cita que se pueden encontrar varias especies del género *Meloidogyne*. Por lo menos 13 diferentes especies han sido descritas en el mundo en asociación con el cafeto. Las más citadas son *M. exigua*, *M. incognita* y *M. coffeicola*.

3.1.4.17 Muestreo de nematodos

Sierra (18) afirma que el análisis nematológico permite diagnosticar la presencia de los nematodos fitoparásitos a nivel de género y sus poblaciones. Esta información, y las observaciones en almácigo y campo permitirán definir el tipo de control o manejo de la plaga que se deberán aplicar.

Este autor cita también que en el campo, en las plantaciones jóvenes y adultas se deben identificar los lotes o pantes donde existan focos con plantas amarillentas y defoliadas, con crecimiento pobre y poco vigor. Estos síntomas podrían corresponder a daños provocados por nematodos. Se deben muestrear también las áreas cercanas a las zonas afectada, considerando plantas de apariencia sana, en este caso tendríamos dos tipos de muestra: plantas enfermas y plantas aparentemente sanas. Se muestrean, por aparte, de 10 a 15 plantas de cada tipo, distribuidas en el lote, colectando un poco de raíces o cabellera radicular a cada planta. Al finalizar el muestreo, deben obtenerse aproximadamente de 5 a 6 onzas de raíces por tipo de muestra, en cada uno de los lotes. Los muestreos deben realizarse durante la época lluviosa, con énfasis en el inicio y final de la misma.

Barfield (6) considera que la manera como el investigador se conduzca en el campo para tomar muestras, afecta la estimación de estadísticos, tales como la densidad media de la plaga. La localización espacial de las muestras según el autor puede tomar varias formas: Azar simple, azar estratificada y sistemática.

Con el muestreo al azar simple se toma una cantidad "x" de una población determinada. La forma de realizarlo consiste en dividir el campo en cuadrantes imaginarios o bien definirlos con banderillas o estacas. Se debe usar también una tabla de números aleatorios para seleccionar coordenadas del campo de donde se tomarán las muestras, que permiten la identificación de cualquier punto en el campo. Una vez seleccionado un juego de coordenadas se toma la muestra y recolecta material (suelo y raíces).

El muestreo al azar estratificado consiste en dividir el universo o el campo de donde se tomarán las muestras en estratos. La división en estratos es para agrupar unidades homogéneas, minimizar dentro de cada estrato la variabilidad entre las unidades de muestreo. Una vez que se delimitan los estratos de muestreo, la selección se hace como muestreo al azar simple. Esto se realiza para cada estrato. Las razones para estratificar pueden ser accidentes geográficos del terreno, factores edáficos, etc.

El muestreo sistemático consiste en caminar sobre una ruta establecida en el campo donde se tomarán las muestras a distancias especificadas, según el número de muestras a tomar que se tienen previamente determinadas. Distribuyendo todas las unidades de muestreo en el campo de la mejor manera posible y de forma uniforme.

Sierra (18) recomienda que la porción de raíces de cada planta se coloque dentro de una bolsa plástica. Al momento de trabajar con la última planta del lote, se toma un poco de suelo superficial para rellenar la bolsa, para evitar la deshidratación de las raíces y protegerlas. Hay que evitar exponerlas durante su transporte a las altas temperaturas y a la luz directa del sol. Si antes de enviar las muestras al laboratorio hay una demora de más de dos días, las mismas se pueden preservar en la parte baja de un refrigerador, en una hielera o en un sitio fresco a la sombra. Cada muestra debe presentar en forma legible el nombre del propietario, el nombre de la finca, ubicación, altura sobre el nivel del mar, nombre del lote, área total del lote, variedad (mencionar si está injertado), edad, porcentaje aproximado de plantas infectadas, nombre o número de la muestra.

3.1.5 Análisis de factores que afectan el rendimiento

Los factores que afectan el rendimiento de un cultivo son todos aquellos factores que lo limitan o que lo favorecen y pueden ser bióticos y abióticos. En la actualidad no existen trabajos en esta línea para café, por lo que se citarán experiencias en otros cultivos.

Según Reyes (15) los primeros trabajos de este géneros en América Latina fueron realizados en 1,975 por Ruiz de Londoño, Pinstrup-Andersen, Sanders e Infante en Colombia (12). Esta investigación fue realizada en dos regiones de Colombia (Huila-Nariño y Valle del Cauca), y buscó determinar los factores que afectan el rendimientos del frijol en estas dos zonas. Su metodología consideró un muestreo con seguimiento dinámico y el ajuste de funciones de producción. Los resultados obtenidos reflejan que para la zona de Valle del Cauca, los factores limitantes fueron la roya, la marchitez bacteriana, antracnosis, la mancha angular y la *Empoasca* sp. En Huila-Nariño, tales factores fueron el cultivo asociado de frijol con maíz y la alta incidencia de enfermedades por el mal uso de insumos. Actualmente este trabajo se considera un clásico de la economía de protección de plantas.

También de acuerdo con Reyes (15), el primer trabajo de este tipo realizado en Guatemala fue hecho por Peláez y Shiras en 1,978, en el parcelamiento La Máquina en los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu. Esta investigación se orientó a determinar los factores que afectan el rendimiento del maíz. Su metodología consideró funciones de regresión múltiple y análisis de varianza. Los resultados obtenidos muestran que el uso de semilla mejorada y el control de plagas por medio de un insecticida granulado fueron los principales factores (15).

En 1,991 Reyes (15) realizó un estudio acerca de los factores que afectan el rendimiento de maíz en Chimaltenango, Guatemala, dividiendo el área de estudio en zona alta (Santa Apolonia, Patzún, Patzicía, Técpán, parte de Zaragoza y Santa Cruz Balanya) y zona baja (municipio de Chimaltenango, Parramos, El Tejar, San Martín Jilotepeque y San Andrés Iztapa), ajustó funciones de producción. Los resultados obtenidos en la zona baja muestran que los rendimientos se ven afectados por la topografía del terreno, el uso de semilla mejorada, el asocio con frijol, la segunda fertilización y la densidad de siembra. En la zona alta los factores de mayor relevancia fueron el cultivo que antecedió al maíz, la topografía del terreno, la época de siembra y el uso de semilla mejorada.

Por otra parte, durante el mismo año que el estudio anterior y siguiendo el mismo enfoque, Reyes (16) hizo un estudio acerca de los factores que inciden en el rendimiento del frijol arbustivo en Chimaltenango, Guatemala. Los resultados muestran que los factores que afectan el rendimiento fueron el uso de semilla mejorada, la densidad de siembra, la aplicación de plaguicidas para el control de plagas y enfermedades, la forma de fertilización y la rotación de cultivos con milpa o trigo.

3.2 Marco referencial

3.2.1 Ubicación Geográfica de la finca La Unión Tacaná

La finca Unión Tacaná pertenece al municipio de Nuevo Progreso, del departamento de San Marcos. Según el Instituto Geográfico Nacional de Guatemala citado por de la Cruz (9), se ubica en las coordenadas 14°48'05" de latitud Norte y a 91°53'27" de longitud Oeste. Los límites de la Finca son: al Noroeste las aldeas San Ignacio y la Finca Venecia, del mismo municipio; al Noreste con la aldea La Conquista y La Finca Manila y al sur con la aldea Pueblo Viejo del mismo municipio. La Finca cuenta con una extensión territorial de 1,035.11 hectáreas.

Según de la Cruz (9), en sus especificaciones sobre zonas de vida Holdrige, la Finca La Unión Tacaná puede clasificarse dentro de la descripción de Bosque muy Húmedo Subtropical (cálido), con un clima templado, la temperatura oscila entre los 18-24.8°C, con vientos que van desde los 15 a 20 km/h. La finca se ubica a una altura que va de 1,100 a los 1,900 msnm, con una precipitación pluvial de 2,300 mm anuales y una humedad relativa del 80 al 85%.

3.2.2 Caracterización socioeconómica de la finca La Unión Tacaná

La finca Unión Tacaná posee 282 colonos, de los cuales 62 son hombres, 68 mujeres, 78 niños y 74 niñas, repartidos en 53 viviendas. La finca posee una escuela para el uso de los hijos de los colonos. Cuenta con una Iglesia Católica y dos Evangélicas. La escuela de la finca brinda la educación primaria completa, es decir hasta sexto grado, y a pesar de ello según el Censo hecho en el año de 1,998 por la Municipalidad de Nuevo Progreso el 45% de las personas de 15 años o más, son analfabetas¹.

¹ Entrevista con el Secretario General de la Municipalidad de Nuevo Progreso, Sr. Mamerto Barrios.

Como empresa, la finca Unión Tacaná posee la siguiente organización: por ser una sociedad anónima los socios son los dueños de la finca; vienen sucedidos por el gerente general, el cual tiene a su cargo el movimiento de capital de la empresa y la comercialización del cultivo; el asistente técnico tiene a su cargo el plan de trabajo del cultivo de café de la finca; el administrador se encarga de que se ejecuten las actividades de campo y de administrar los insumos y recursos de la finca, así como dirigir y coordinar a los mayordomos, quienes supervisan las actividades de campo junto con los caporales; el jefe de oficina tiene a sus cargo el pago de planillas. En la figura 1 se presenta la organización de la finca.

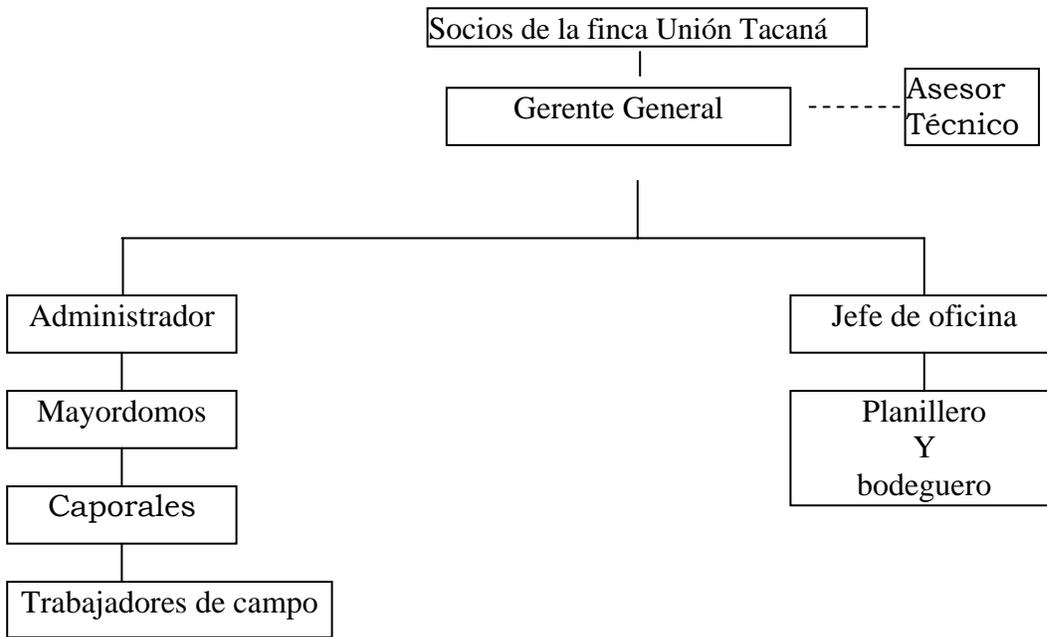


Figura 1. Organigrama de La finca La Unión Tacaná S.A., Nuevo Progreso San Marcos, 1,999

3.2.3 Actividades productivas de la finca La Unión Tacaná

La única actividad productiva de la finca Unión Tacaná es la producción y exportación de café oro, para ello la empresa posee beneficios húmedo y seco. El producto es vendido a las exportadoras de café del país. Actualmente, el producto se vende a Exportcafé S.A. El capital de trabajo se obtiene a través de adelantos que le otorga Exportcafé, y la producción es vendida según un contrato legal con la empresa exportadora.

El calendario de actividades que se realizan para el cultivo de café se presenta en el cuadro 2. Todas estas actividades son supervisadas por los dos mayordomos y los quince caporales que cuenta la finca, y bajo la asesoría de un técnico agrónomo.

Los agroquímicos son comprados a varias casas comerciales, según las necesidades de la finca. La preferencia por alguno de los productos, usualmente se define después de una actividad demostrativa de los vendedores y si está convence a los administradores y agrónomo, es adquirido.

3.2.4 Producción de la finca La Unión Tacaná

En la finca Unión Tacaná se cultivan 670.59 ha de café, lo cual se hace en 20 lotes divididos de acuerdo con el tiempo en que fueron sembrados. También se cuenta con un almácigo, en el cual se tienen aproximadamente 85,000 plantías para su siembra en el campo.

En el cuadro 3 se presenta los lotes de la finca, sus nombres y algunas de sus características.

3.2.5 Análisis de nematología hechos en la finca Unión Tacaná

Análisis efectuados en 1,998 muestran que en los distintos lotes de la finca La Unión Tacaná, se presentan poblaciones altas de nematodos de los géneros *Pratylenchus* y *Meloidogyne*. Ascendiendo a 8,900 nematodos por 25 g de raíz los del primer género y a 2,000 nematodos los del segundo (véase anexo 1).

Cuadro 2. Actividades agrícolas que se realizan al cultivo de café de la finca Unión Tacaná, 1,999.

Actividad	Mes en que se Realiza	Duración de la actividad
Desombre	enero y febrero	2 meses
Poda baja	febrero y enero	2 meses
Poda alta	febrero y marzo	2 meses
Deshije	febrero y marzo	2 meses
Redeshije	mayo y junio	2 meses
Encalado	agosto y septiembre	2 meses
Fertilización	Mayo	1 mes
Control químico de malezas	enero a diciembre	12 meses
Control mecánico de malezas	enero a diciembre	12 meses
Fertilización foliar	Febrero	1 mes
Ahoyado	Abril	1 mes
Elaboración de estacas	Mayo	1 mes
Trazo y estaquillado	Mayo	1 mes
Acarreo de bolsas	Mayo	1 mes
Siembra de plantas	Mayo	1 mes
Control químico de nematodos	Julio	1 mes
Siembra de sombra	Mayo	1 mes
Hechura de leña	Febrero	1 mes
Acarreo de leña	Febrero	1 mes

Cuadro 3. Características de los lotes de café de la finca la Unión Tacaná, 1998

Nombre del lote	Extensión (ha)	Variedades	Edad promedio	Altura Msnm	Rendimiento en pergamino (kg/ha)
Cerritos	10.94	bourbon	20 años	1,270-1,340	610.66
Coyolar 1	15.31	bourbon	20 años	1,200-1,230	406.28
Coyolar 2	32.81	bourbon	20 años	1,240-1,270	243.21
35,000 matas	15.03	catuaí	25 años	1,340-1,395	661.39
Número 8	13.13	catuaí	10 años	1,160-1,200	554.48
Potrero	13.48	bourbon	25 años	1,180-1,200	320.61
Número 1	56.88	catuaí y bourbon	15 y 25 años	1,260-1,295	467.52
Número 35	12.69	bourbon, catuaí y catimor	20 y 8 años	1,390-1,415	301.57
Verapaz 1	30.63	bourbon, catuaí y catimor	30 y 7 años	1,210-1,260	874.8
Verapaz 2	8.75	mondonovo y catuaí	22 y 8 años	1,250-1,290	131.53
Camila	36.88	bourbon y pacas	30 y 12 años	1,210-1,230	676.09
María Luisa	65.63	bourbon, mondonovo y catuaí	20, 15 y 8 años	1,450-1,485	410.9
Juárez	46.06	catuaí	4 años	1,440-1,485	775.26
Tridente	5.25	catuaí	4 años	1,500-1,515	793.26
Eva	14.41	bourbon	30 años	1,400-1,455	203.88
Adela	91.13	bourbon y catuaí	20 y 8 años	1,430-1,445	759.7
Número 7	99.29	bourbon	35 años	1,500-1,550	262.91
Silencio	52.50	bourbon, mondonovo y magarogype	35, 20 y 4 años	1,795-1,825	731.15
Tacaná 1	38.94	bourbon y catuaí	40 y 8 años	1,800-1,850	630.09
Tacaná 2	21.88	bourbon y mondonovo	30 y 12 años	1,680-1,700	182.82

4. Objetivos

4.1 General

Determinar el efecto económico de los nematodos en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) en la finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso, San Marcos.

4.2 Específicos

4.2.1 Determinar el efecto de los nematodos en el rendimiento del cultivo de café.

4.2.2 Estimar la reducción de ganancias que generan los nematodos en la producción de café.

4.2.3 Adaptar/desarrollar metodologías para el análisis económico de esta plaga en el cultivo de café.

5. Hipótesis

Bajo condiciones de la finca Unión Tacaná, los rendimientos y las ganancias del cultivo del café (*Coffea arabica* L.) guardan una relación inversa con las poblaciones de los nematodos de los géneros *Pratylenchus* y *Meloidogyne*.

6. Metodología

6.1 Área de estudio

Como se indica en el marco referencial, la investigación se desarrolló en la finca Unión Tacaná, en Nuevo Progreso, San Marcos. Esta se condujo a través de la observación dinámica (en el tiempo) de 15 de sus 20 lotes de café. La exclusión de 5 lotes se debió a dos razones fundamentales, primero, el lote no estaba en producción, y segundo, el lote tiene mucha similitud con otro u otros lotes bajo estudio. Concretamente, los lotes “No. 7” y “Eva” se descartaron por encontrarse recepados. Por su parte, “El Silencio” posee las mismas características que “Tacaná 1”; “Cerritos” tiene las mismas condiciones que “Coyolar 1”, y “35,000 matas” con “Verapáz 1”.

6.2 Muestreo de nematodos

En los 15 lotes seleccionados, se delimitaron áreas de 1 ha para el muestreo espacial y temporal de nematodos, este se llevó a cabo de mayo de 1999 a abril del 2000. Se tomaron muestras cada 30 días.

Para la colecta de muestras, siguiendo a Villian (22), se tomaron 15 submuestras, en cada una de las áreas de muestreo delimitadas. En cada submuestra se tomaron de 8 g a 15 g de raíz a una profundidad de 0-30 cm de la rizósfera de una planta de café, colectándola en una cubeta de plástico. Esta se hizo al azar en forma de zigzag. Al final se homogeneizó la muestra dentro de la cubeta y se introdujo en una bolsa de plástico de 5 lb con su identificación (nombre del lote, variedad (es) de café, altura en metros sobre el nivel del mar del lote, edad de las plantas y la ubicación de la finca). Al final se obtuvieron datos de 15 muestras por mes durante todo el período de estudio.

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Asociación Nacional del café (ANACAFE). Su transporte se hizo en una hielera para preservar las muestras.

6.3 Determinación del porcentaje de humedad de cada muestra de suelo

Del suelo colectado en cada muestra, se tomaron 15 g de suelo y se colocaron en una caja petri. Luego las 15 cajas petri se introdujeron a un horno de convección por 24 horas a una temperatura de 120°C. Al final, se pesaron las cajas en una balanza analítica para determinar por diferencias de peso el contenido de humedad de cada una de las muestras. Se tuvieron 15 datos de humedad mensual durante el periodo de estudio.

6.4 Método de extracción de nematodos

Para la extracción de nematodos se empleó el método de flote, sedimentación y tamizado y el cual conlleva el procedimiento siguiente:

Se lavaron las raíces colectadas, en un balde de plástico de 10 l de capacidad. Las raíces lavadas se picaron en trozos de 0.5 cm y se licuaron por 3 minutos. El sobrenadante de raíces licuadas se filtró en tamices de 50, 325 y 500 mesh, dichos tamices fueron previamente lavados. Luego se lavaron los nematodos interceptados en el último tamiz y se recogieron en un beacker de 30 ml, en un volumen de 10 ml de agua, y se repitió el proceso de filtración por los tamices. Al final se recolectó una cantidad de 35 ml de agua.

Luego de la filtración de raíces, se procedió a centrifugar los 35 ml de agua colectada en el paso anterior, para ello se revolvió la cantidad de raíces en un vaso de precipitado de 500 ml y se llenaron los tubos de la centrífuga, mezclando en cada tubo aproximadamente 0.1 g de caolín. Todos los tubos de la centrífuga con caolín tuvieron el mismo peso y se procedió a centrifugar a 2-3 mil revoluciones por minuto, durante 5 minutos, después se desechó el sobrenadante de los tubos. El precipitado de los tubos se resuspendió con una solución azucarada al 45% (0.45 kg/l de agua) y nuevamente los tubos debieron pesar los mismo, y se centrifugó por un período de 30 á 60 segundos a 3 mil revoluciones por minuto. El sobrenadante de los tubos se vertió inmediatamente en el tamiz de 325 mesh y se lavó con agua, sumergiendo y levantando el fondo del tamiz en una cubeta con agua. Después de eliminar la solución azucarada de la superficie del cuerpo de los nematodos, estos se recuperaron en una vaso de precipitado (10-15 cc de agua) auxiliándose de una pizeta con agua.

6.5 Determinación de géneros de nematodos fitoparásitos y conteo de especímenes

Para determinar los géneros y la cantidad de nematodos fitoparásitos, se utilizó un microscopio compuesto. La determinación de nematodos se hizo a nivel de géneros.

Para el conteo del número de nematodos fitoparásitos se hicieron 3 repeticiones de 1 ml y fueron colocadas en placas de siracusa. El número total de cada muestra fue calculado como promedio de las 3 repeticiones hechas.

6.6 El modelo conceptual del rendimiento de café

Es obvio que el rendimiento de café depende del manejo agronómico del germoplasma cultivado y de los factores que definen el ambiente en que se práctica el cultivo. Para aislar el efecto de los nematodos en el rendimiento, fue necesario desarrollar un modelo que agrupara todos los factores (o al menos los principales), para luego estudiar el efecto individual de los nematodos.

En el modelo concebido, el rendimiento es una función de los siguientes factores:

La variedad sembrada: la finca en estudio posee distintas variedades de café: Bourbon, Catimor, Catuai, Pacas, Magarogype y Mondonovo. Estos germoplasmas tienen diferencias en los ciclos productivos y rendimientos.

La altura (msnm): está variable influye en el rendimiento a través de su efecto en el desarrollo fisiológico de la planta. ANACAFE (5) recomienda que se siembre el cultivo a una altura que oscile entre 800 y 1,500 msnm. La finca presentó diferentes rangos de altura que van desde 1,200 msnm hasta 1,850 msnm.

La edad de los cafetales: respecto a este factor, el rendimiento guarda una relación inversa, según Coste (8) y ANACAFE (5), un cafetal bien manejado tiene una vida útil de 12 a 15 años, después de esta edad el rendimiento es decreciente. En la finca, los lotes tienen diferentes edades, por lo que en ella fueron esperables diferencias en el rendimiento debidas a este factor.

La humedad del suelo: está variable afecta el rendimiento por medio de sus estímulos al desarrollo de patógenos del suelo y foliares. Según ANACAFE (5), si existe una humedad mayor a 65-85% existirá incidencia de enfermedades fungosas. Por otra parte, la humedad afecta la absorción de nutrientes en los cafetos.

Densidad de árboles de sombra: la sombra ayuda en períodos de sequía prolongados, ya que los árboles de sombra crean un ambiente adecuado para evitar la elevada evapotranspiración. Además contribuyen a contrarrestar los posibles efectos de la erosión, que causa el empobrecimiento de nutrientes en el suelo. En la zona de estudio se observa cierta variabilidad de este factor, ya que existen lotes con mayor número de árboles de sombra que otros.

Densidad de siembra: los lotes de la finca presentan diferentes densidades de siembra, por lo que se esperan rendimientos más altos en las áreas que tengan un mayor número de plantas.

La textura del suelo: según la ANACAFE (5), los cafetos se desarrollan mejor en suelos de textura franco arenosa o arenosa. En la zona de estudio, existen diferentes texturas de suelo, que van de franco-arenosa a franco arcillosa.

Pendiente del terreno: las pendientes mayores de 25% afectan el desarrollo de las plantas por el empobrecimiento de los suelos que ocasiona la erosión del suelo. Los lotes de la finca poseen diferentes pendientes. Estas variaron de 15 a 35%.

Nematodos fitoparásitos del café: de acuerdo con la literatura y los análisis de raíces citados en el marco referencial, los géneros *Pratylenchus* y *Meloidogyne* se encuentran en niveles que apoyan la sospecha de ser la principal causa de los bajos rendimientos de la finca.

Es necesario resaltar, que variables agronómicas como la fertilización, control de malezas, control de plagas y enfermedades y manejo de tejidos, no fueron consideradas en el modelo. Esto fundamentalmente se debió al hecho de que tienen el mismo nivel de expresión para toda la finca y por consiguiente no ofrecen variabilidad para desarrollar una función de respuesta.

6.7 Muestra de producción

Para ajustar el modelo, se utilizaron las observaciones generadas en 75 plantas seleccionadas para tomar datos de producción. Para ello, se seleccionaron 5 plantas en cada uno de los lotes usados para el muestreo de nematodos. Luego para cada lote se promediaron los datos para cada variedad cultivada, esto produjo una serie de 23 datos. Esta información en cuestión se presenta en el anexo 2.

Adicionalmente, en cada lote se tomaron registros del resto de variables consideradas en el modelo de rendimiento. La información de nematodos fue tomada de los resultados de los análisis mensuales de laboratorio.

La recolección de la información de los otros factores se hizo de la siguiente manera: la altura de los lotes se obtuvo con la ayuda de una altímetro. Para los factores como la edad de los cafetales, la variedad sembrada y textura de suelo, los datos se tomaron de los registros que posee la finca Unión Tacaná. Para el cálculo de las pendientes de los lotes en estudio se empleó un nivel en "A". La densidad de árboles de sombra y la densidad de plantas de café se determinaron con la ayuda de un metro.

6.8 El modelo empírico

Después de emplear diferentes especificaciones, para la realización del análisis empírico, se utilizó el modelo siguiente:

$$REND_i = \beta_0 \cdot ALT_i^{\beta_1} \cdot SOMB_i^{\beta_2} \cdot EDAD_i^{\beta_3} \cdot DENS_i^{\beta_4} \cdot HUM_i^{\beta_5} \cdot PEN_i^{\beta_6} \cdot NEM_i^{\beta_7} \cdot e^{\beta_8 VARM1_i + \beta_9 VARM2_i + \beta_{10} VARM3_i + \beta_{11} TEX_i} \dots (1)$$

En donde:

REND	Rendimiento de café en cereza(kg/ha);
ALT	La altura del lote (msnm);
SOMB	Densidad de árboles de sombra (árboles/ha);
EDAD	Edad de las plantas (años);
DENS	Densidad de siembra (plantas de café/ha);
HUM	Porcentaje de humedad del suelo (%);
PEND	Pendiente del lote (%);
NEM	Número de nematodos de los géneros <i>Pratylenchus</i> y <i>Meloidogyne</i> en 25 g de raíz;
VARM 1	Variedad sembrada de café (1=Bourbon; 0=otras);
VARM 2	Variedad sembrada de café (1=Catuái ; 0=otras);

- VARM 3 Variedad sembrada de café (1=Catimor; 0=otras);
- TEX Textura del suelo (1= arenosa; 0= otras texturas);
- β_j j-ésimo coeficiente de regresión parcial. Se interpreta como el efecto de la j-ésima variable en $REND_i$;
- $i= 1,2,3,\dots, n$ Se refiere a la i-ésima media varietal;
- e Es la base de los logaritmos naturales ($e = 2.718282$).

Este modelo permite obtener directamente la elasticidades de las variables continuas y las diferencias de rendimiento entre dos niveles de expresión de las variables cualitativas. Por otra parte, esta especificación fue escogida porque se percibió que el rendimiento de café guarda una relación relativa (ó de cambios proporcionales) con sus variables explicativas continuas.

Para su ajuste y análisis estadístico, el modelo (1) se linealizó con logaritmos naturales y adicionando el componente aleatorio de error, se obtuvo la siguiente especificación:

$$LREND_i = \beta_0 + \beta_1 LALTi + \beta_2 LSOMBi + \beta_3 LEDADi + \beta_4 LDENSi + \beta_5 LHUMi + \beta_6 LPENi + \beta_7 LNEMi + \beta_8 VARM1i + \beta_9 VARM2i + \beta_{10} VARM3i + \beta_{11} + TEXi + U_i \dots\dots\dots (2)$$

en donde:

- L Logaritmo natural;
- U Término de error aleatorio;

El resto de variables ya fueron definidas en (1).

Para completar la especificación, el modelo (2) debe cumplir los siguientes supuestos:

1. U_i se distribuye normal;
2. $E(U_i) = 0$ (Media cero);
3. $E(U_i^2) = \sigma^2$ (homocedasticidad);
4. $E(U_i U_j) = 0$ para todo $i \neq j$ (Ausencia de autorregresión);
5. VARM, ..., NEM son independientes (Ausencia de multicolinealidad).

Para el ajuste de (2) se utilizó el método de mínimos cuadrados ordinarios. Para identificar esta especificación, se le denominó “Doble logarítmica simple”.

6.9 Pruebas de violación de supuestos

Para determinar si los modelos cumplen con los supuestos de ausencia de multicolinealidad y autocorrelación, se utilizó el análisis de las correlaciones simples entre las variables explicativas, para el primero y la prueba de Durbin Watson para el segundo. Esto se hizo con el fin de tener la seguridad de que el regresor de los nematodos constituye el efecto específico de estos sobre el rendimiento de café.

Para determinar los síntomas de multicolinealidad, se probó si las correlaciones entre las variables explicativas fueron diferentes de cero. Para ello, de Johnston (11) se tomó la siguiente razón de *t* de Student:

$$t = r \left[\frac{n-2}{1-r^2} \right] \dots\dots\dots (3)$$

en donde:

- r Coeficiente de correlación parcial;
- n Tamaño total de la muestra

Como criterio de decisión se estableció que una correlación es significativamente diferente de cero cuando la significancia de su respectiva *t* sea menor o igual al 5% de probabilidad.

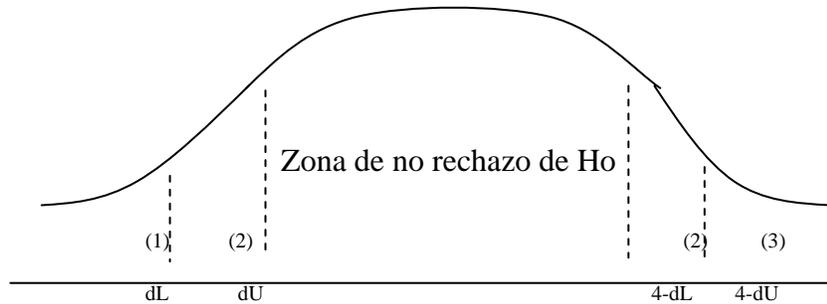
Para calcular el Durbin Watson (DW) se utilizó la siguiente fórmula:

$$DW = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \dots\dots\dots (4)$$

en donde :

- e Residuos;
- i i-ésima observación en la serie (1, 2, ..., n).

En la figura 2, se presenta la distribución de Durbin-Watson, y las zonas de decisión para rechazar o no las hipótesis sobre autocorrelación positiva o negativa. Mayores detalles se pueden obtener en Gujarati (10).



- (1) Zona de rechazo de H_0 : No autocorrelación positiva
- (2) Zona de Indecisión
- (3) Zona de rechazo de H_0 : No autocorrelación negativa

Nota: dL límite inferior, dU límite superior

Figura 2. Distribución de Durbin-Watson y criterios de decisión.

6.10 Corrección de la multicolinealidad

Para resolver el problema de la colinealidad múltiple, en la literatura (10) (11) (20) se recomienda:

1. Adicionar datos a la muestra, ya que como la multicolinealidad es un problema muestral, la adición de elementos muestrales puede desaparecerla. Este curso de acción, aunque atractivo no fue operativo para nuestro caso, ya que nos percatamos de la multicolinealidad hasta cuando teníamos un año de registros.
2. Utilizar la regresión de Ridge, la desventaja de esta técnica es que constituye en una solución puramente estadística y que no permite interpretar directamente los resultados estimados, algo esencial en se busca hacer en este trabajo.
3. Construir componentes principales con las variables colineales y ajustar de nuevo la regresión usando los componentes como variables explicativas.
4. Sacar de la ecuación a las variables problema. Este es el último recurso y algunas veces genera sesgos de especificación.

Debido a que los análisis evidenciaron la presencia de multicolinealidad en la especificación "Doble logarítmica simple", se buscó corregir este problema ajustando un modelo con componentes principales.

Los componentes principales se formaron con las variables que acusaron colinealidad. Los componentes principales son variables artificiales que se construyen como combinaciones lineales de las variables empleadas para su estimación. Tienen la propiedad de ser linealmente independientes entre sí, lo cual los hizo atractivos para aislar el efecto de los nematodos en el rendimiento de café, pues al ser independientes cada coeficiente de regresión parcial representa estrictamente el efecto de su respectiva variable. El número de componentes principales obtenidos de las variables es igual al número de variables.

En algunos casos, un solo componente es suficiente para resolver el problema de multicolinealidad y mantener simultáneamente un coeficiente de determinación múltiple elevado, sin embargo, eso depende de cuanto de la variabilidad total de las variables que se considera, el componente pueda contener. En el caso particular de nuestro modelo, hubo necesidad de usar los 10 componentes estimados, pues de no hacerlo así, el coeficiente de determinación permanecía en un nivel muy bajo.

Para mayores detalles sobre la estimación de componentes principales véase el libro de Johnston (11).

Siguiendo este enfoque se produjo un modelo con la siguiente especificación:

$$\text{LREND}_i = \beta_0 + \beta_1 \text{LNEM}_i + \alpha_1 \text{PRIN}_{1i} + \alpha_2 \text{PRIN}_{2i} + \alpha_3 \text{PRIN}_{3i} + \alpha_4 \text{PRIN}_{4i} + \alpha_5 \text{PRIN}_{5i} + \alpha_6 \text{PRIN}_{6i} + \alpha_7 \text{PRIN}_{7i} + \alpha_8 \text{PRIN}_{8i} + \alpha_9 \text{PRIN}_{9i} + \alpha_{10} \text{PRIN}_{10i} + U_i \dots\dots\dots(5)$$

en donde:

PRIN 1...., PRIN 10, son los componentes principales de 1....,10;

El resto de variables ya fueron descritas en (2).

Para identificar esta especificación, se le denominó: “Doble logarítmica con componentes principales”.

6.11 Prueba empírica de la hipótesis de trabajo sobre el efecto de los nematodos en el rendimiento

En este trabajo se quiere probar que el rendimiento de café guarda una relación inversa con la población de nematodos. En términos estadísticos la hipótesis nula y alternativa son:

$$H_0 : \beta_1 = 0$$

$$H_a : \beta_1 < 0$$

Su estadístico de prueba fue

$$t = \frac{\beta_1}{S_{\beta_1}} \dots\dots\dots(6)$$

En donde:

β_1 es el coeficiente de regresión parcial de nematodos;

S_{β_1} es el error estándar de β_1 .

distribuido como t de Student con $n - p$ grados de libertad (p son los parámetros estimados en la regresión).

Como criterios de significancia se siguió el de Theil (20), el cual plantea que un regresor es significativo si su razón t tiene un valor absoluto mayor que la unidad.

6.12 Pérdidas físicas

Para el j-ésimo lote, la pérdida física se estimó comparando la producción que se obtiene con el ataque de nematodos con la que se obtendría sin nematodos.

Estimando la producción con los niveles de las variables que corresponden al j-ésimo lote, exceptuando los nematodos, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$PROD_j = [\text{antilog}(A_0 + \beta_1 LNEM)] * DENSIDAD_j * SUPERFICIE_j * (1 - TA) \dots \dots \dots (7)$$

En donde:

- PROD Producción de café en cereza (kg/ha);
- A₀ $\beta_0 + \alpha_1 PRIN_{1i} + \alpha_2 PRIN_{2i} + \alpha_3 PRIN_{3i} + \alpha_4 PRIN_{4i} + \alpha_5 PRIN_{5i} + \alpha_6 PRIN_{6i} + \alpha_7 PRIN_{7i} + \alpha_8 PRIN_{8i} + \alpha_9 PRIN_{9i} + \alpha_{10} PRIN_{10i}$. Es la suma del intercepto de (5) y los efectos de todas las variables exceptuando LNEM;
- LNEM ya fue descrita en (2);
- DENSIDAD Densidad de siembra (plantas de café/ha);
- SUPERFICIE Superficie total del lote (ha);
- TA Tasa de ajuste del 15%;
- j j-ésimo lote j=1,2,3....., 15.

De donde se deduce, que la ecuación sin nematodos es:

$$PROD_j = [\text{antilog } A_0] * DENSIDAD_j * SUPERFICIE_j * (1 - TA) \dots \dots \dots (8)$$

Y también se infiere que la pérdida física es:

$$PROD_j \text{ sin nematodos} - PROD_j \text{ con nematodos} \dots \dots \dots (9)$$

Las pérdidas físicas para toda la finca se obtuvieron por sumatoria de las pérdidas de los lotes individuales.

Para estimar las pérdidas físicas de los tres lotes que no se consideraron en la muestra (“El Silencio”, “35,000 matas” y “Cerritos”), se emplearon los rendimientos con y sin nematodos de aquellos lotes con que guardan similitud y sus respectivas densidades de siembra y superficies.

Cabe agregar una explicación sobre el uso de una tasa de ajuste en la estimación de la producción de los lotes. Esta tasa en particular se empleó para evitar sobrevaluaciones de la producción, las cuales emergen como efecto del reducido tamaño de muestra por lote. Este mismo fenómeno ocurre en los experimentos agrícolas con plantas y fundamentalmente se debe: (i) el sesgo técnico que introduce en el manejo, la mayor calificación técnico-científica del investigador, (ii) el sesgo de manejo de superficies chicas, (iii) sesgo por mayor exactitud de la fecha de cosecha, y (iv) sesgo por mayor eficiencia en la cosecha de superficies chicas

(8). Algo similar ocurre en muestras pequeñas como en nuestro caso, pues el hecho de visitar constantemente a las plantas de la muestra introduce involuntariamente un sesgo de manejo y luego en la medición de la producción, el grado de control es mayor y las pérdidas en cosecha son menores. Para corregir los datos experimentales, para el análisis económico, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) recomienda usar tasas de ajuste entre el 5 y el 30% (7). Siguiendo esta recomendación acá se empleó una tasa de ajuste del 15 %.

6.13 Prueba empírica de la hipótesis de trabajo sobre el efecto de los nematodos en las ganancias

Para probar que las ganancias guardan una relación inversa con los nematodos es necesario partir de la función general de ganancias, la cual es,

$$\pi = IT - CT \dots\dots\dots (10)$$

que también se puede expresar como

$$\pi = P Q - CT \dots\dots\dots (11)$$

en donde:

- π Es la ganancia (Quetzales);
- IT Ingreso total (Quetzales);
- P Precio del café (Quetzales);
- Q Es la cantidad producida (kg,);
- CT Son los costos totales (Quetzales).

Por la ecuación (7) se tiene que la producción es

$$Q = [\text{antilog} (A_0 + \beta_1 \text{LNEM})] * D * S * (1-TA)$$

que puede expresarse como

$$Q = [\text{antilog } A_0] \text{NEM}^{\beta_1} * D * S * (1-TA)$$

En este punto, con el propósito de manejar menores factores, se hace

$$C_0 = [\text{antilog } A_0] * D * S * (1-TA)$$

con lo que se tiene que la producción es

$$Q = C_0 \text{Nem}^{\beta_1} \dots\dots\dots (12)$$

por tanto, la ganancia se puede expresar

$$\pi = P (Co Nem^{\beta 1}) - CT \dots\dots\dots (13)$$

Por otro lado, para probar que las ganancias guardan una relación inversa con los nematodos es necesario probar que la elasticidad de π respecto a NEM es negativa.

Si esta elasticidad en cuestión es igual a

$$\varepsilon_{NEM} = \frac{\partial \pi}{\partial NEM} * \frac{NEM}{\pi} \dots\dots\dots(14)$$

entonces, las hipótesis son:

$$H_0: \varepsilon_{NEM} = 0$$

$$H_a: \varepsilon_{NEM} < 0$$

Ahora, tomando la derivada parcial respecto a nematodos, se tiene que la elasticidad de la ganancias respecto a los nematodos es

$$\varepsilon_{NEM} = \beta 1 P (Co Nem^{\beta 1 - 1}) * \frac{NEM}{P (Co Nem^{\beta 1}) - CT}$$

que realizando las operaciones indicadas, conduce a

$$\varepsilon_{NEM} = \frac{\beta 1 P (Co Nem^{\beta 1})}{P (Co Nem^{\beta 1}) - CT}$$

recordando que $Q = Co Nem^{\beta 1}$,

$$\varepsilon_{NEM} = \frac{\beta 1 (P * Q)}{(P * Q) - CT}$$

y como $IT = P*Q$, finalmente se tiene

$$\varepsilon_{NEM} = \frac{\beta 1 (IT)}{IT - CT} \dots\dots\dots (15)$$

Por tanto, las hipótesis nula y alternativa acerca del efecto de los nematodos en las ganancias son:

$$H_0: \frac{\beta 1 (IT)}{IT - CT} = 0$$

$$H_a: \frac{\beta 1 (IT)}{IT - CT} < 0$$

que despejando respecto a $\beta 1$, se pueden expresar

$$H_0: \beta 1 = \frac{IT - CT}{IT}$$

$$H_a: \beta_1 < \frac{IT - CT}{IT}$$

ahora, haciendo la siguiente definición operativa,

$$\theta = \frac{IT - CT}{IT}$$

se tiene que las hipótesis quedan formalmente especificadas como:

$$H_o: \beta_1 = \theta$$

$$H_a: \beta_1 < \theta$$

En este caso, su estadístico de prueba es

$$t = \frac{\beta_1 - \theta}{S_{\beta_1}} \dots\dots\dots (16)$$

distribuido como t de Student con $n - p$ grados de libertad,

y su criterio de significancia es:

dice que β_1 es significativamente menor que cero si al 5% de probabilidad, $|t_c| > |t_{tab}|$.

6.14 Pérdidas económicas

Para determinar las pérdidas económicas generadas por los nematodos se utilizó la ecuación de ganancia expuesta en (10). Para el j -ésimo lote, la pérdida económica se estimó comparando la ganancia que se obtiene con el ataque de nematodos con aquella que se obtendría con ausencia de estos patógenos.

La ecuación con nematodos es la siguiente:

$$\pi = P^* (\text{PROD}_j \text{ con nematodos}) - \text{CT con nematodos} \dots\dots\dots (17)$$

Y la ecuación sin nematodos es:

$$\pi = P^* (\text{PROD}_j \text{ sin nematodos}) - \text{CT sin nematodos} \dots\dots\dots (18)$$

De modo similar que con las pérdidas físicas, las pérdidas económicas debidas a los nematodos fue la diferencia de (17) y (18). Las pérdidas económicas de la finca, se obtuvieron de la sumatoria de las pérdidas de los lotes individuales.

Es necesario aclarar dos conceptos de costos que se derivan de la presencia y ausencia de nematodos. Los costos con nematodos son aquellos que se observaron en la finca. Los costos sin nematodos, por su parte, llevan incorporado el costo por la mano de obra adicional que se hubiese requerido para la cosecha en

este escenario de mayor producción. Para obtener este costo adicional de la mano de obra, se asumió el mismo coeficiente de mano de obra por kilogramo cosechado.

7. Resultados y su discusión

7.1. Control de nematodos practicado en la finca y producción obtenida

En la figura 3, se muestra la variación estacional de los nematodos durante el período de estudio.

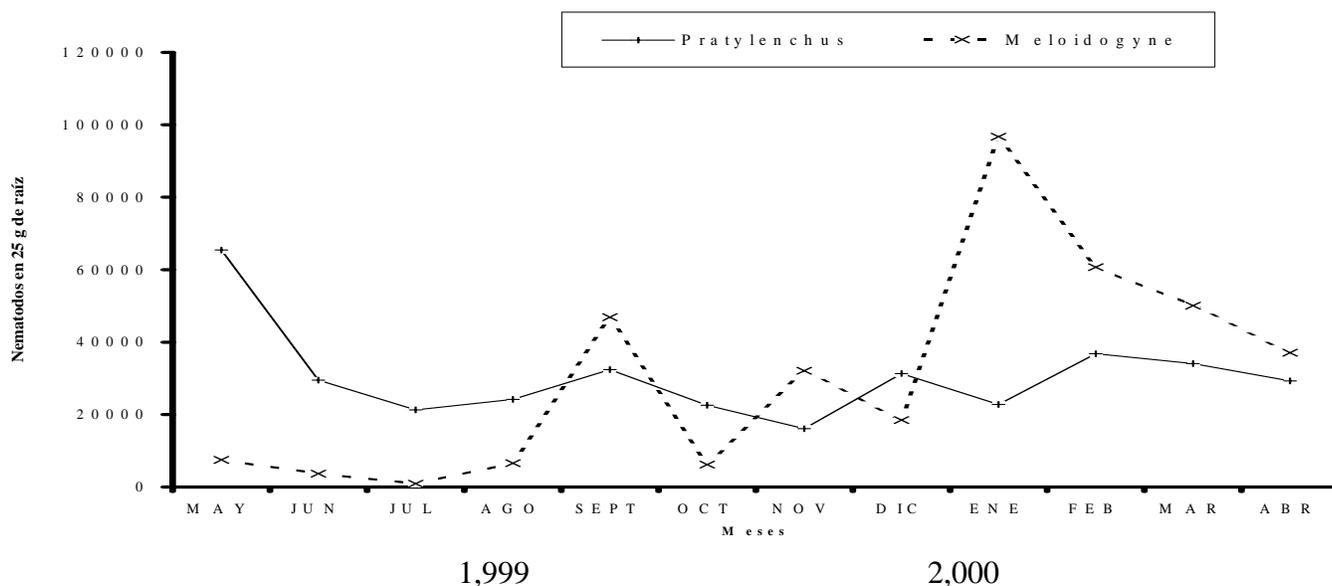


Figura 3. Variación estacional del *Pratylenchus* y *Meloidogyne* en la finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso, San Marcos. Ciclo 1,999-2,000.

Como se puede apreciar en la figura 3, el comportamiento de *Pratylenchus* fue uniforme durante el período observado, oscilando alrededor de 30,000 nematodos en 25 g de raíz en la finca. Un mes atípico a este patrón de oscilación fue mayo, cuando esta población ascendió a 62,000 nematodos en 25 g de raíz. La variación poblacional de *Pratylenchus* observada coincide con resultados de Villian (21) encontrados en el Suroccidente de Guatemala, área en la que se encuentra la finca.

Por el contrario, las poblaciones de *Meloidogyne* durante los meses de mayo a julio fueron bajas, ubicándose en alrededor 5,000 individuos por 25 g de raíz, aumentando durante el mes de agosto en adelante, siendo más agresivas durante los meses de diciembre a febrero, época en la cual los cafetos inician su floración. En este último período, se alcanzó el nivel máximo observado, este fue de 96,705 nematodos por 25 g de raíz en el mes de enero.

Para el control de nematodos, la finca utilizó el control químico aplicando Oxamyl al 24% (240 g/lit), a razón de 4.3 lt/ha. Esta práctica consistió en una sola aplicación del insumo durante los meses de mayo y junio. En términos del plaguicida usado, este control tuvo un costo de Q873.19/ha.

El volumen de producción de la finca para el período de estudio fue de 1,141,828.18 kg de café cereza, teniendo un rendimiento de 1,702.72 kg/ha. Según ANACAFE (4), para un nivel tecnológico tradicional se espera un rendimiento de 2,704 kg/ha, por lo que se puede indicar que los rendimientos de la finca son bajos.

7.2 Resultados estadísticos

En el cuadro 4 se presenta el modelo ajustado siguiendo la especificación “Doble logarítmica simple” y en el cuadro 5 se presenta la matriz de correlaciones de orden cero.

Cuadro 4. Función de respuesta del rendimiento de café. Especificación “Doble logarítmica simple”. Finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso, San Marcos. Ciclo 1,999-2,000.

Variable	Coefficiente de Regresión	Error estándar	Razones de <i>t</i>
Intercepto	-21.07119	14.223453	-1.481
LNEM	-0.251105	0.208816	-1.203
LALT	3.173804	1.360615	2.333
LSOMB	0.096512	0.681286	0.142
LHUM	-0.510445	1.935573	-0.264
LEDAD	0.111590	0.419088	0.277
LDENS	0.182966	0.681265	0.269
LPEND	-0.327358	0.236889	-1.382
VARM 1	-0.470686	0.266232	-1.768
VARM 2	-0.250463	0.570791	-0.439
VARM 3	-0.330368	0.499830	-0.661
TEX	0.157833	0.264814	0.596
R ² = 0.6642			
DW=2.3663			

Como se puede apreciar en el cuadro 5, existen correlaciones significativas entre: nematodos-humedad, altura-humedad, altura-densidad, pendiente-sombra, pendiente-humedad, edad-densidad, edad-variedad Bourbon, edad-variedad Catuaí, densidad-textura, variedad Bourbon-variedad Catuaí y variedad Catuaí-textura, lo cual debe interpretarse como la ausencia de una estricta independencia entre las variables explicativas, es decir, que existe multicolinealidad.

De acuerdo con la literatura (10) (11) (20), en presencia de multicolinealidad, las pruebas de *t* ya no son válidas debido a la distorsión que la multicolinealidad produce en los errores estándar de los estimadores; lo cual en este estudio en particular impide medir con objetividad la significancia del regresor de los nematodos, es decir, no se conoce con precisión cual es el efecto individual del factor nematodos en el rendimiento.

Para resolver nuestro problema se decidió emplear componentes principales, los cuales se formaron con las variables: altura, sombra, densidad de siembra, humedad del suelo, pendiente del terreno, variedad Bourbon, variedad Catuaí, variedad Catimor y textura del suelo. Ya con los componentes estimados, se ajusto el modelo que en la metodología se denominó: “Especificación doble logarítmica con componentes principales”, el cual se presenta en el cuadro 6. En este caso el uso de los componentes en cuestión garantiza que no hay multicolinealidad, pues entre estos y LNEM existe una estricta independencia.

En el cuadro 6 se puede apreciar que este modelo acusa un estadístico de Durbin Watson (DW=2.432), el cual para 11 variables explicativas y 23 observaciones, cae en la zona de indecisión, lo cual aún cuando no es concluyente da pauta a pensar que si existiese autocorrelación esta no sería severa, pues de lo contrario sería evidente con la prueba hecha.

Cuadro 5. Matriz de correlación de orden cero entre las variables explicativas del rendimiento.

Variables	LNEM	LALT	LSOMB	LHUM	LEDAD	LDENS	LPEND	VARM 1	VARM 2	VARM 3	TEX
LNEM	1 (0)	0.301 (0.16)	0.329 (0.881)	0.540* (0.008)	-0.147 (0.504)	0.337 (0.116)	-0.145 (0.509)	-0.07931 (0.719)	0.234 (0.284)	-0.059 (0.789)	-0.291 (0.178)
LALT		1 (0)	-0.197 (0.365)	0.464* (0.026)	0.049 (0.825)	-0.408* (0.054)	0.004 (0.985)	-0.027 (0.902)	0.089 (0.687)	-0.169 (0.440)	0.327 (0.128)
LSOMB			1 (0)	-0.196 (0.372)	-0.202 (0.356)	0.348 (0.104)	0.396* (0.062)	-0.068 (0.757)	0.076 (0.730)	0.098 (0.657)	-0.192 (0.381)
LHUM				1 (0)	-0.105 (0.633)	-0.127 (0.563)	-0.457* (0.028)	-0.078 (0.725)	0.118 (0.593)	-0.026 (0.907)	0.211 (0.334)
LEDAD					1 (0)	-0.357* (0.094)	0.107 (0.626)	0.619* (0.002)	-0.805* (0.001)	-0.195 (0.373)	0.267 (0.218)
L DENS						1 (0)	0.020 (0.929)	-0.166 (0.448)	0.289 (0.181)	-0.147 (0.502)	-0.477* (0.021)
LPEND							1 (0)	0.274 (0.901)	-0.107 (0.626)	0.171 (0.437)	0.004 (0.985)
VARM 1								1 (0)	-0.476* (0.022)	-0.311 (0.149)	0.124 (0.573)
VARM 2									1 (0)	-0.230 (0.291)	-0.371* (0.082)
VARM 3										1 (0)	0.146 (0.506)
TEX											1 (0)

Nota: Los valores entre paréntesis son el nivel de significancia

* Correlación significativa: probabilidad ≤ 0.05 .

Por otro lado, el coeficiente de determinación múltiple (R^2) de este modelo indica que el 63.93% de la varianza del rendimiento es explicado por el modelo, lo cual refleja una capacidad predictiva de nivel mediano.

Por otra parte, siguiendo el criterio de significancia de Theil (20), se puede observar que la variable nematodos produce un efecto significativo en el rendimiento de café. Este efecto en cuestión es negativo, es decir, en la medida que aumentan los nematodos se reduce el rendimiento, lo cual apoya la hipótesis que sobre este factor se planteó en esta investigación. Concretamente el regresor de nematodos indica que por cada 1 % en que se eleve la población de *Pratylenchus* y *Meloidogyne*, el rendimiento se reduce en 0.25 %.

Como resultado del análisis estadístico se puede sostener que el modelo con especificación “Doble logarítmica con componentes principales”, se puede emplear con confianza para realizar las estimaciones de pérdidas físicas y económicas.

Cuadro 6. Función de respuesta del rendimiento de café. Especificación “Doble logarítmica con componentes principales”. Finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso, San Marcos. Ciclo 1,999-2,000.

Variable	Coefficiente de Regresión	Error estándar	Razón de <i>t</i>
Intercepto	1.342160	1.698754	0.790
LNEM	-0.247906	0.208816	-1.160
PRIN 1	0.135410	1.360615	1.273
PRIN 2	-0.310443	0.681286	-2.697
PRIN 3	0.003925	1.935573	0.037
PRIN 4	0.132722	0.419088	1.291
PRIN 5	0.010528	0.681275	0.088
PRIN 6	-0.434590	0.236889	-0.336
PRIN 7	0.140148	0.266232	1.344
PRIN 8	-0.146065	0.570791	-1.419
PRIN 9	-0.121253	0.499830	-1.204
PRIN 10	0.005992	0.264814	0.056
R ² =0.6393			
DW=2.432			

7.3 Producción observada y estimada de la finca

En el cuadro 7 se presenta las producciones observadas y estimadas con la ecuación (5) planteada en la metodología, así como las diferencias que existen entre ellas. Estas diferencias son importantes para percibir la capacidad predictiva de esta ecuación en cuestión. Los valores negativos indican subvaluación y los positivos sobrevaluación.

En términos generales, la ecuación sobrevalúa en 0.3 % la producción de la finca, lo cual para los propósitos evaluativos de este trabajo, es un indicador de alta capacidad predictiva. Por otro lado, esta capacidad también es alta para la mayoría de los lotes de la finca, ya que como se observa en el cuadro 7, para las producciones de la mayoría, el desvío es menor al 5 %. Existen dos lotes que la sub y sobrevaluación de la producción se aleja del promedio general. Este es el caso de Tacaná 1 con 9.01 % y Los Cerritos con -25.38 %.

El propósito que motiva este estudio es la determinación del efecto económico de los nematodos en la finca Unión Tacaná, por tanto, estos pocos casos extremos de desviación no producen mayores sesgos en las mediciones realizadas, porque finalmente, el efecto general se percibe a través de la producción total de la finca y no de la de lotes aislados.

Por otra parte, el uso de ecuaciones generadas con la ecuación (5) de la metodología, para determinar las diferencias entre la producción con y sin nematodos, neutraliza las desviaciones en las diferencias, ya que este sesgo se encuentra presente en ambas producciones comparadas al realizar la resta.

Cuadro 7. Producción observada y estimada de la finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso, San Marcos. Ciclo 1,999-2,000.

Lote	Producción observada kg	Producción estimada kg	Diferencia Absoluta kg	Diferencia Relativa %
Tacaná 1	45,760.00	49,883.53	4,123.53	9.01
Tacaná 2	95,519.09	100,493.63	4,974.54	5.21
El tridente	68,181.82	66,382.79	-1,799.03	-2.64
Juárez	70,818.18	66,908.61	-3,909.57	-5.52
Adela	59,090.91	56,786.44	-2,304.47	-3.90
Número 35	89,071.36	92,328.67	3,257.31	3.66
Verapaz 1	95,454.55	98,981.62	3,527.08	3.70
Verapaz 2	66,318.18	68,123.10	1,804.92	2.72
Camila	79,363.64	80,135.86	772.22	0.97
Número 8	20,491.36	20,354.13	-137.23	-0.67
Coyolar 1	30,115.00	28,706.52	-1,408.48	-4.68
Coyolar 2	43,656.36	43,812.91	156.55	0.36
El Potrero	69,105.45	70,610.21	1,504.75	2.18
Número 1	54,041.36	54,839.42	798.05	1.48
María Luisa	60,813.64	61,853.72	1,040.09	1.71
El Silencio	123,055.00	128,869.31	5,814.31	4.72
35,000 matas	12,603.18	12,637.86	34.68	0.28
Cerritos	58,369.09	43,553.57	-14,815.52	-25.38
Totales	1,141,828.18	1,145,261.90	3,433.72	0.30

7.4 Pérdidas físicas ocasionadas por los nematodos

En el cuadro 8 se presentan las pérdidas físicas ocasionadas por los nematodos en la finca Unión Tacaná. Como se puede apreciar en este cuadro, el efecto de la plaga se observa en todos los lotes.

Se estimó que los nematodos ocasionan una pérdida física general que asciende a 7,002,188 kg de café en cereza, que equivalen a una pérdida porcentual del 85.9 %, lo que confirma la severidad de daño de esta plaga. De estos resultados se puede inferir, que si el control de la plaga fuera perfecto, la finca produciría 711 % más de café que lo ha cosechado en la actualidad.

7.5 Pérdidas económicas ocasionadas por los nematodos

En el anexo 3 se presentan las estimaciones realizadas para probar la hipótesis sobre el efecto de los nematodos en las ganancias. Puede observarse que estos resultados apoyan la hipótesis planteada, por lo que se puede concluir que las ganancias se reducen en la medida que aumenten las poblaciones de nematodos. Concretamente, la elasticidad estimada indica que por cada 1 % en que se incrementen las poblaciones de *Pratylenchus* y *Meloidogyne*, las ganancias se reducen en 0.88 %.

Teniendo probada la hipótesis sobre las ganancias y los nematodos, se dispone de bases empíricas para estimar las implicaciones económicas que esta plaga ha tenido en la finca. En este sentido, en el cuadro 9 se presentan las pérdidas económicas ocasionadas por los nematodos para el ciclo 1,999-2,000 en la finca Unión Tacaná.

Cuadro 8. Pérdidas físicas ocasionadas por los nematodos en el la finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso, San Marcos. Ciclo 1,999-2,000 - Kilogramos -

Lote	Producción con nematodos	Producción sin nematodos	Pérdidas físicas
Tacaná 1	49,883.53	422,173.11	372,289.57
Tacaná 2	100,493.63	769,580.97	669,087.34
El tridente	66,382.79	486,105.69	419,722.90
Juárez	66,908.61	677,495.20	610,586.58
Adela	56,786.44	339,097.22	282,310.78
Número 35	92,328.67	551,336.50	459,007.82
Verapaz 1	98,981.62	638,372.10	539,390.48
Verapaz 2	68,123.10	439,357.17	371,234.07
Camila	80,135.86	516,836.72	436,700.86
Número 8	20,354.13	181,455.11	161,100.98
Coyolar 1	28,706.52	240,011.04	211,304.52
Coyolar 2	43,812.91	321,915.81	278,102.90
El Potrero	70,610.21	518,797.40	448,187.19
Número 1	54,839.42	252,903.26	198,063.85
María Luisa	61,853.72	345,003.84	283,150.12
El Silencio	128,869.31	1,090,643.58	961,774.27
35,000 matas	12,637.86	75,466.32	62,828.45
Cerritos	43,553.57	280,899.01	237,345.44
Totales	1,145,261.90	8,147,450.05	7,002,188.14

Como se muestra en el cuadro 9, la finca podría percibir ganancias de Q18,629,693.97 en ausencia de nematodos, sin embargo como consecuencias de la plaga solamente genera ganancias de Q1,341,878.01. La diferencia entre estos dos niveles ganancias, Q 17,073,080.24, representa el efecto económico de los nematodos, aunque también se puede concebir como el costo económico en que incurre el productor por operar con un sistema de producción poco eficiente para controlar esta plaga.

Cuadro 9. Pérdidas económicas ocasionadas por los nematodos en la finca Unión Tacaná, Nuevo Progreso, San Marcos. Ciclo 1,999-2,000
-Valores en Quetzales -

Lote	Ganancia con nematodos	Ganancia sin nematodos	Pérdidas económicas
Tacaná 1	29,474.60	919,467.97	889,993.37
Tacaná 2	195,475.71	2,058,965.76	1,863,490.05
El tridente	83,592.15	1,129,166.84	1,045,574.69
Juárez	85,316.86	1,756,924.42	1,671,607.56
Adela	52,116.14	646,979.06	594,862.92
Número 35	168,694.66	1,343,123.89	1,174,429.23
Verapaz 1	190,516.33	1,628,600.66	1,438,084.33
Verapaz 2	89,300.39	975,831.70	886,531.31
Camila	128,702.22	1,229,964.62	1,101,262.39
Número 8	-67,381.85	129,912.94	62,531.09
Coyolar 1	-39,986.01	321,976.38	281,990.37
Coyolar 2	9,562.95	590,624.02	581,061.07
El Potrero	97,458.09	1,236,395.63	1,138,937.54
Número 1	45,729.89	364,262.88	318,532.99
María Luisa	68,736.82	666,352.77	597,615.94
El Silencio	288,547.94	3,112,051.12	2,823,503.17
35,000 matas	-92,691.21	63,004.38	155,695.59
Cerritos	8,712.31	456,088.93	447,376.62
Totales	1,341,878.01	18,629,693.97	17,073,080.24

8. Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

- 8.1.1 Los resultados obtenidos en este trabajo evidencian que los nematodos guardan una relación inversamente proporcional con el rendimiento y las ganancias de la finca Unión Tacaná, lo cual apoya las hipótesis de trabajo establecidas; concretamente se determinó que por cada 1% que se eleve la población de *Pratylenchus* y *Meloidogyne*, los rendimientos se ven reducidos en un 0.25% y las ganancias en 0.88 %.
- 8.1.2 Se determinó que en presencia de poblaciones altas de *Pratylenchus* y *Meloidogyne* la finca produce 1,145,261.90 kg de café en cereza, estimándose que en ausencia de estos podría producir 8,147,450.05 kg, o sea, 711%, por arriba de la producción actual. En términos de la producción sin nematodos, esta diferencia equivale a una pérdida del 85.9% atribuible a esta plaga.

- 8.1.3 Para el caso estudiado, el efecto económico de los nematodos es de Q17,073,080.24 que se dejan de ganar como resultado de las pérdidas físicas generadas por esta plaga.
- 8.1.4 Los resultados obtenidos en este trabajo corroboran hallazgos de investigadores de ANACAFE (4) (5), referentes al Suroccidente de Guatemala, zona en la que se localiza la finca estudiada.

8.2 Recomendaciones

Aunque este estudio no trata sobre programas de control de nematodos, ni sobre el aprovechamiento alternativo de las plantaciones de café, los resultados obtenidos en este trabajo, las recomendaciones técnicas desarrolladas por ANACAFE, y las ideas ecologistas que se perciben en el medio agronómico nacional en la actualidad, nos permiten recomendar algunas prácticas agrícolas con el fin de resolver el problema de nematodos en la finca, y de proponer como diversificar el agrosistema del café en la región Suroccidental, no sólo por el problema de esta plaga sino por el estado de precios bajos en que nos encontramos desde hace varios años:

8.2.1 Para la finca

- A. Renovar las plantaciones de café con variedades injertadas. De acuerdo con estudios hechos en ANACAFE (5), este tipo de plantas produce hasta 76% más que las plantas sin injerto y además presenta mayor tolerancia al ataque de plagas del suelo, tales como nematodos y cochinillas.
- B. Introducir y adoptar la práctica de fertilización orgánica al suelo. Es obvio que ésta mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, y este es un beneficio que la recomienda, sin embargo, en este caso, lo relevante es su efecto biocida el cual se logra a través de su estímulo al crecimiento de agentes naturales que controlarán las poblaciones altas de nematodos fitoparásitos del café.

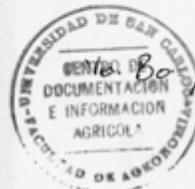
8.2.2 Para la región Suroccidental de Guatemala

- A. Promover a través de ANACAFE, ONG'S, municipalidades, etc., la utilización de plantas injertadas y la fertilización orgánica en esta región. Para ello, se hacen necesarias muchas actividades de transferencia de tecnología, tales como parcelas en campos de agricultores, días de campo, encuentros agrícolas, cursos, y otras, en donde se pueda evidenciar la eficiencia de estas prácticas para el control de nematodos, y la capacitación de los agricultores en la producción y uso de materia orgánica.
- B. Finalmente, la tendencia descendente de los precios del café en el mercado internacional en los últimos años, ha mostrado la fuerte vulnerabilidad económica del sistema monocultivista que se emplea en Guatemala para producir café. Este aspecto particular, hace urgente la búsqueda de alternativas para hacerlo menos vulnerable, y un mecanismo de seguridad al que se puede acudir es la diversificación del agrosistema del café. Puede resultar factible hacerlo con especies de bajo costo de producción pero de alto valor en el mercado. Concretamente se recomienda el desarrollo de sistemas mejorados para la producción agroforestal, esto es café y simultáneamente especies maderables, plantas aromáticas y follajes ornamentales, que no sólo elevarán la eficiencia económica del sistema, sino también los beneficios ambientales que tradicionalmente ha aportado la caficultura.

9. Bibliografía

- 1.- Agrios, GN. 1996. Fitopatología. 2 ed. Trad. por M. Ortiz. México, UTEHA. 820 p.
- 2.- Alvarez, GA; Samayoa, JO. 1997. Guía de prácticas de laboratorio de fitopatología I.; prácticas de laboratorio. Guatemala, USAC. 121 p.
- 3.- Alvarado, J. 1997. Diagnóstico sobre el parasitismo de los nematodos y cochinillas de raíz en la zona del suroccidente de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Quetzaltenango, Guatemala, USAC, CUNOC. 60 p.
- 4.- ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT) 1984. Manual de las enfermedades y plagas del café. Guatemala. 111 p.
- 5.- ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT). 1998. Manual de caficultura. 3 ed. Guatemala. 317 p.
- 6.- Barfield, CS. 1989. Muestreo del manejo integrado de plagas insectiles en Centroamérica; estado actual y futuro. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. 115 p.
- 7.- CIMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, GT). 1988. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos; un manual metodológico de evaluación económica. México. 125 p.
- 8.- Coste, RE. 1978. El café; técnicas agrícolas y producciones tropicales. Trad. por V. Ripoll. Barcelona, España, Blume. 277 p.
- 9.- Cruz S, JR De la. 1976. Clasificación de zonas de vida en Guatemala; basado en el sistema de Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
- 10.- Gujarati, D. 1992. Econometría. Trad. por VM. Mayorga. 2 ed. México, McGraw-Hill. 590 p.
- 11.- Johnston, J. 1984. Econometrics methods. 3 ed. New York, McGraw-Hill. 589 p.
- 12.- Londoño, N; *et al* 1978. Factores que limitan la productividad en frijol en Colombia. Cali, Colombia, CIAT. 39 p.
- 13.- FUSAC (Fundación Salvadoreña del Café, SV). 1997. Diagnóstico de las principales deficiencias nutricionales del cafeto. Boletín Técnico (SV) 3(10):2-8.
- 14.- NAS (National Academy of Science, US). 1980. Control de nematodos parásitos de plantas; control de plagas plantas y animales. Trad. por J. Morán. México, Limusa. v. 4, 219 p.
- 15.- Reyes Hernández, M. 1991. Factores que inciden en el rendimiento del maíz en Chimaltenango. Guatemala, ICTA. 22 p.

- 16.- Reyes Hernández, M. 1991. Factores que inciden en el rendimiento del frijol en Chimaltenango. Guatemala, ICTA. 14 p.
- 17.- Rodríguez, E. 1997. Biología de los nematodos. Guatemala, USAC. 24 p.
- 18.- Sierra, S. 1998. Muestreo nematológico. Cafetin 4(6):25-37.
- 19.- Salatiel Gómes, G. 1995. Biodiversidade e caracterização da estrutura do cominidades do nematoides em campos do soja (*Glycine max* Marr). Tesis Ing. Agr. Brasilia, Brasil, Universidade do Brasilia. 53 p.
- 20.- Theil, H. 1971. Principles of econometrics. 2 ed. New York, Wiley & Sons. 890 p.
- 21.- Tihohod, D. 1997. Guia práctico para a identificação de fitonematóides. São Paulo, Brasil, Fundação dos Estudos em Agronomia e Veterinaria do Jaboticabal. 246 p.
- 22.- Villian, L; Licarde, D. 1992. Dinámica poblacional de *Pratylenchus* sp. en una plantación de café adulto de la zona suroccidental de Guatemala. In Memoria Técnica de Investigaciones en Café 90-91, ANACAFE, GT 3:95-101.



Rolando Barrios.



**Soluciones
Analíticas**
Agricultura • Industria • Ambiente

11 Avenida 36-40, Zona 11 Guatemala, C.
Teléfono PBX 442-2422 • Fax 477-
sa@guate.net • www.soluciones-analiticas.

INFORME DE ANALISIS DE NEMATOLOGIA

Cliente : Finca La Unión Tacaná, S.A.
Persona Responsable: Mauricio Ochoa

No. Orden: 21902
Código muestra: 20576 - 20582

**Soluciones
Analíticas**
Agricultura • Industria • Ambiente

11 Avenida 36-40, Zona 11 Guatemala, C. A.
Teléfono PBX 442-2422 • Fax 477-0678
sa@guate.net • www.soluciones-analiticas.com

Orden: 21902 Código: 20576 - 20582

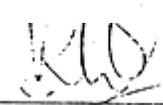
Observaciones:

- En todas las muestras, se detectaron poblaciones altas de nemátodos del género **Pratylenchus**, a excepción de las secciones **Adela M-1** y **Adela M-2**, sin embargo las poblaciones pueden ir en aumento.
- **Meloidogyne** es un género de nemátodo de importancia económica en café, mientras que los géneros **Helicotylenchus**, **Paratylenchus** y **Criconebella** no lo son.
- Se estima que poblaciones mayores de 800 – 1000 nemátodos por 25 grs. de raíces, pueden empezar a ser perjudiciales al cultivo.

Recomendaciones:

- Para bajar las poblaciones de nemátodos, pueden utilizarse productos a base de Terbufos (Counter, Pillarfox), Carbofuran (Furadan), Fenamifos (Nemacur) o Aldicarb (Temik).
- Para dosis, frecuencia de aplicación y manejo del producto, seguir las indicaciones de la etiqueta.

Revisado por :


Agr. Julio del Cid
Jefe Laboratorio de Fitopatología

Los resultados de este informe son válidos únicamente para las muestras como fueron recibidas en el laboratorio.

ANEAU 4

BASE DE DATOS PARA EL AJUSTE DE LA FUNCIÓN DE RESPUESTA DEL RENDIMIENTO. FINCA UNIÓN TACANÁ. CICLO 1,999-2,000

Observación	Planta	Lote	Pratylenchus	Meloidogyne	Humedad	VARM 1	VARM 2	VARM 3	ALT	SOMB	EDAD	DENS	TEX	PEND	REND
1	1	Tacaná 1	3172.50	2341.75	30.74	1	0	0	1800	200	40	1312	1	12	0.74
2	2	Tacaná 1	3172.50	2341.75	30.74	1	0	0	1800	200	40	1312	1	12	0.73
3	3	Tacaná 1	3172.50	2341.75	30.74	1	0	0	1800	200	40	1312	1	12	0.82
4	4	Tacaná 1	3172.50	2341.75	30.74	1	0	0	1800	200	40	1312	1	12	0.7
5	5	Tacaná 1	3172.50	2341.75	30.74	1	0	0	1800	200	40	1312	1	12	0.75
6	1	Tacaná 2	3625.00	59.08	27.32	0	0	0	1680	215	30	1574	1	8	3.4
7	2	Tacaná 2	3625.00	59.08	27.32	0	0	0	1680	215	30	1574	1	8	3.1
8	3	Tacaná 2	3625.00	59.08	27.32	0	0	0	1680	215	12	1574	1	8	3.81
9	4	Tacaná 2	3625.00	59.08	27.32	0	0	0	1680	215	12	1574	1	8	2.9
10	5	Tacaná 2	3625.00	59.08	27.32	0	0	0	1680	215	12	1574	1	8	3.35
11	1	El tridente	1350.00	1725.42	31.22	0	1	0	1440	280	4	2400	0	5	0.52
12	2	El tridente	1350.00	1725.42	31.22	0	1	0	1440	280	4	2400	0	5	0.49
13	3	El tridente	1350.00	1725.42	31.22	0	1	0	1440	280	4	2400	0	5	0.54
14	4	El tridente	1350.00	1725.42	31.22	0	1	0	1440	280	4	2400	0	5	0.59
15	5	El tridente	1350.00	1725.42	31.22	0	1	0	1440	280	4	2400	0	5	0.47
16	1	Juárez	7241.67	4125.33	27.36	0	1	0	1485	325	4	3300	0	10	0.75
17	2	Juárez	7241.67	4125.33	27.36	0	1	0	1485	325	4	3300	0	10	0.81
18	3	Juárez	7241.67	4125.33	27.36	0	1	0	1485	325	4	3300	0	10	1
19	4	Juárez	7241.67	4125.33	27.36	0	1	0	1485	325	4	3300	0	10	0.8
20	5	Juárez	7241.67	4191.92	27.36	0	1	0	1485	325	4	3300	0	10	0.78
21	1	Adela	1066.75	283.92	25.21	1	0	0	1445	290	20	2100	1	20	0.52
22	2	Adela	1066.75	283.92	25.21	1	0	0	1445	290	20	2100	1	20	0.5
23	3	Adela	1066.75	283.92	25.21	0	1	0	1445	290	8	2100	1	20	0.46
24	4	Adela	1066.75	283.92	25.21	0	1	0	1445	290	8	2100	1	20	0.55
25	5	Adela	1066.75	283.92	25.21	0	1	0	1445	290	8	2100	1	20	0.61
26	1	No. 35	1566.92	275.75	23.62	0	0	0	1390	250	20	2874	0	15	0.57
27	2	No. 35	1566.92	275.75	23.62	1	0	0	1390	250	20	2874	0	15	0.61
28	3	No. 35	1566.92	275.75	23.62	1	0	0	1390	250	20	2874	0	15	0.54
29	4	No. 35	1566.92	275.75	23.62	1	0	0	1390	250	20	2874	0	15	0.63
30	5	No. 35	1566.92	275.75	23.62	0	1	0	1390	250	8	2874	0	15	0.58
31	1	Verapaz 1	2150.08	4650.25	24.63	0	1	0	1260	315	7	2985	0	18	0.33
32	2	Verapaz 1	2150.08	4650.25	24.63	0	1	0	1260	315	7	2985	0	18	0.31
33	3	Verapaz 1	2150.08	4650.25	24.63	0	1	0	1260	315	7	2985	0	18	0.41
34	4	Verapaz 1	2150.08	4650.25	24.63	0	1	0	1260	315	7	2985	0	18	0.3
35	5	Verapaz 1	2150.08	4650.25	24.63	0	1	0	1260	315	7	2985	0	18	0.38
36	1	Verapaz 2	2133.42	3116.83	26.44	0	1	0	1290	200	8	3156	0	21	0.37
37	2	Verapaz 2	2133.42	3116.83	26.44	0	1	0	1290	200	8	3156	0	21	0.41
38	3	Verapaz 2	2133.42	3116.83	26.44	0	1	0	1290	200	8	3156	0	21	0.45
39	4	Verapaz 2	2133.42	3116.83	26.44	0	1	0	1290	200	8	3156	0	21	0.36
40	5	Verapaz 2	2133.42	3116.83	26.44	0	1	0	1290	200	8	3156	0	21	0.35
41	1	Camila	467.00	2650.42	28.08	1	0	0	1230	225	30	3125	1	5	0.6
42	2	Camila	467.00	2650.42	28.08	1	0	0	1230	225	30	3125	1	5	0.55
43	3	Camila	467.00	2650.42	28.08	1	0	0	1230	225	30	3125	1	5	0.65
44	4	Camila	467.00	2650.42	28.08	0	0	0	1230	225	12	3125	1	5	0.67
45	5	Camila	467.00	2650.42	28.08	0	0	0	1230	225	12	3125	1	5	0.59
46	1	No. 8	208.75	267.50	24.24	0	0	1	1160	230	10	1568	1	14	0.62
47	2	No. 8	208.75	267.50	24.24	0	0	1	1160	230	10	1568	1	14	0.59
48	3	No. 8	208.75	267.50	24.24	0	0	1	1160	230	10	1568	1	14	0.64
49	4	No. 8	208.75	267.50	24.24	0	0	1	1160	230	10	1568	1	14	0.71
50	5	No. 8	208.75	267.50	24.24	0	0	1	1160	230	10	1568	1	14	0.58
51	1	Coyolar 1	941.67	84.17	22.85	1	0	0	1230	300	20	2226	1	10	0.44
52	2	Coyolar 1	941.67	84.17	22.85	1	0	0	1230	300	20	2226	1	10	0.42
53	3	Coyolar 1	941.67	84.17	22.85	1	0	0	1230	300	20	2226	1	10	0.53
54	4	Coyolar 1	941.67	84.17	22.85	1	0	0	1230	300	20	2226	1	10	0.43
55	5	Coyolar 1	941.67	84.17	22.85	1	0	0	1230	300	20	2226	1	10	0.51
56	1	Coyolar 2	2099.00	1175.42	24.15	1	0	0	1270	200	20	2147	0	17	0.22
57	2	Coyolar 2	2099.00	1175.42	24.15	1	0	0	1270	200	20	2147	0	17	0.24
58	3	Coyolar 2	2099.00	1175.42	24.15	1	0	0	1270	200	20	2147	0	17	0.25
59	4	Coyolar 2	2099.00	1175.42	24.15	1	0	0	1270	200	20	2147	0	17	0.21
60	5	Coyolar 2	2099.00	1175.42	24.15	1	0	0	1270	200	20	2147	0	17	0.23
61	1	El Potrero	675.17	458.75	24.35	1	0	0	1180	330	25	2516	0	27	0.51
62	2	El Potrero	675.17	458.75	24.35	1	0	0	1180	330	25	2516	0	27	0.65
63	3	El Potrero	675.17	458.75	24.35	0	0	0	1180	330	25	2516	0	27	0.54
64	4	El Potrero	675.17	458.75	24.35	0	0	0	1180	330	25	2516	0	27	0.53
65	5	El Potrero	675.17	458.75	24.35	0	0	0	1180	330	25	2516	0	27	0.55
66	1	No. 1	1008.33	8933.83	26.66	0	0	1	1260	315	15	2784	0	15	0.17
67	2	No. 1	1008.33	8933.83	26.66	0	0	1	1260	315	15	2784	0	15	0.12
68	3	No. 1	1008.33	8933.83	26.66	0	0	1	1260	315	15	2784	0	15	0.15
69	4	No. 1	1008.33	8933.83	26.66	0	0	1	1260	315	15	2784	0	15	0.23
70	5	No. 1	1008.33	8933.83	26.66	1	0	0	1260	315	25	2784	0	15	0.25
71	1	María Luisa	2783.33	442.17	26.40	0	0	1	1485	300	8	2624	1	32	0.63
72	2	María Luisa	2783.33	442.17	26.40	0	0	1	1485	300	8	2624	1	32	0.66
73	3	María Luisa	2783.33	442.17	26.40	1	0	0	1485	300	20	2624	1	32	0.62
74	4	María Luisa	2783.33	442.17	26.40	0	0	0	1485	300	20	2624	1	32	0.57
75	5	María Luisa	2783.33	442.17	26.40	0	0	0	1485	300	20	2624	1	32	0.51

En donde:

REND	Rendimiento de café en cereza(kg/ha)
ALT	La altura del lote (msnm)
SOMB	Densidad de árboles de sombra (árboles/ha)
EDAD	Edad de las plantas (años)
DENS	Densidad de siembra (plantas de café/ha)
HUM	Porcentaje de humedad del suelo (%)
PEND	Pendiente del lote (%)
NEM	Número de nematodos de los géneros <i>Pratylenchus</i> y <i>Meloidogyne</i> en 25
VARM 1	Variedad sembrada de café (1=bourbon; 0=otras)
VARM 2	Variedad sembrada de café (1=catuai ; 0=otras)
VARM 3	Variedad sembrada de café (1=catimor; 0=otras)
TEX	Textura del suelo (1= arenosa; 0= otras texturas)

ANEXO 3

PRUEBA EMPÍRICA DE LA RELACIÓN INVERSA QUE LAS GANANCIAS GUARDAN CON LA POBLACIÓN DE NEMATODOS

Según la ecuación (15) la elasticidad de las ganancias respecto a NEM se estima,

$$\varepsilon_{\text{NEM}} = \frac{\beta_1 (IT)}{IT - CT}$$

Por tanto, sustituyendo los valores

$$IT = Q3.28 * 1,145,261.90 \text{ kg} = Q3,756,459.03$$

$$CT = Q2,682,867.82$$

$$\beta_1 = -0.247906$$

se tiene que

$$\varepsilon_{\text{NEM}} = -0.867414$$

Para probar que $\varepsilon_{\text{NEM}} < 0$,

$$t = \frac{\beta_1 - \theta}{S_{\beta_1}}$$

$$S_{\beta_1} = 0.208816$$

calculando,

$$\theta = \frac{IT - CT}{IT} = 0.285799$$

se tiene que

$$tc = -2.555861$$

como al 5 % de probabilidad y 11 grados de libertad, y a una cola en la distribución de Student, $t_{\text{tab}} = 1.363$,

siguiendo la regla de decisión, $|t_c| > |t_{\text{tab}}|$, se rechaza la hipótesis nula.