

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

**ESTUDIO DE LOS NEMATODOS FORMADORES DE QUISTES EN PAPA *Solanum tuberosum* L., PARA DESCARTAR LA PRESENCIA DEL NEMATODO DORADO DE LA PAPA EN EL MUNICIPIO DE JALAPA, JALAPA.**

TESIS

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

POR

**ELMER JOSE ROLDAN SALAZAR**

En el acto de investidura como,

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**EN**

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO**

GUATEMALA, JULIO DEL 2,005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

M. V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Dr. Ariel Abderraman Ortíz López
SECRETARIO	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	Elmer Antonio Álvarez Castillo
VOCAL QUINTO	Miriam Eugenia Espinoza Padilla

Guatemala de la Asunción, Julio del 2,005

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

Señores 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 vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

**ESTUDIO DE LOS NEMATODOS FORMADORES DE QUISTES EN PAPA *Solanum tuberosum* L., PARA DESCARTAR LA PRESENCIA DEL NEMATODO DORADO DE LA PAPA EN EL MUNICIPIO DE JALAPA, JALAPA.**

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

Esperando que el mismo tenga vuestra aprobación, quedo de antemano con ustedes muy agradecido,

Atentamente,

Elmer José Roldán Salazar

## ACTO QUE DEDICO

**A:**

**DIOS**

Por haberme dado la vida y permitirme hacer logros importantes como el de este día.

**TI VIRGEN MARIA**

Gracias por haberme fortalecido con amor y fé en los caminos del señor.

**MIS PADRES**

José Armando Roldán Mejía, por ser ejemplo de esfuerzo, apoyo, valores y ejemplo de vida. Gracias papa.

Griselda Bethzabé Salazar de Roldán, por su apoyo, amor y ayuda incondicional en todo momento, esta meta alcanzada no es solo mía, es de ustedes.

**MIS HERMANOS**

Jose Armando Roldán Salazar, quién me llena de alegría, te agradezco por tu apoyo y tu compañía en todo momento.

Cynthia Mariel Roldán de Robles

Oscar Robles, Gracias por su incondicional apoyo, tómenlo como un logro suyo también.

**MIS ABUELOS**

Delfina Reyes de Salazar **Q.E.P.D**, quiero decirte abuelita que he cumplido tu deseo. Tu dijiste que yo iba a ser agrónomo algún día y hoy lo estoy cumpliendo. Gracias por haberme trazado esa meta tan linda, con la que hoy me siento realizado. Te recuerdo con agradecimiento y cariño.

Elmer Atilio Salazar Zelada, por su apoyo y compañía en todo momento, que Dios te bendiga por todo el cariño que me tienes.

Rosa Mejía de Roldán, ejemplo de vida espiritual y amor por mi familia.

Virgilio Roldán Reyes, gracia abuelo por sus sabios consejos y por ser ejemplo de vida y de trabajo.

**TIAS Y TIOS**

Con respeto, cariño y admiración, por haberme dado siempre ejemplo de alegría, unidad y ayuda cuando yo más lo necesité.

**MIS PRIMOS**

Cuanto deseo que Dios los bendiga, y que este ejemplo les sirva para luchar por sus metas. Gracias por todo el cariño que me tienen.

**MI NOVIA**

Gracia mi amor, por hacer que el sol brille para mi aún en los días mas oscuros, y por tu apoyo incondicional en el alcance de esta meta.

**MIS AMIGOS**

Arodi Chavez, Alejandro Rivas, Ronny Roma, Heisler Gómez, Pablo Polo, Juan Zamora, Juan Carlos Andrade, Juan Herrera, Víctor Reyes, Víctor Cabrera, Gesly Aníbal Bonilla, Milton Mickey Méndez, Gesser Gónzales, Alejandro Gil, Mónica Velásquez, Oscar Medinilla, Luis Blanco, Sergio Barillas, Yender Gónzales, Elías, Marcos Salguero, Aníbal Díaz, Marlon Valladares, Sheyla García, Leonel Gómez, Ramiro López, Sível Elías, David Mendieta, Mónica Garcia, Marlon Gónzalez, Daniel Manzo, German Gónzalez, Oscar Ajanel, Oscar Valenzuela, Gerson Aguirre, César Omar Barrios, A mis amigos de Calusac. Por la amistad y los momentos de alegría y tristeza compartidos durante la carrera.

**TESIS QUE DEDICO**

**A:**

GUATEMALA

LICEO JAVIER

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

## AGRADECIMIENTOS

**A:**

El Ing. Agr Gustavo Adolfo Álvarez, asesor de este trabajo de investigación, por toda la ayuda técnica brindada a lo largo de la elaboración de este documento. Gracias Ingeniero y sepa que usted es ejemplo de trabajo y capacidad.

Los evaluadores de este trabajo, Ing. Miguel Martínez Tambito, Ing Agr. Luis Valerio Macz, Dr. David Monterros y Dr. Ariel Ortíz, quienes con sus correcciones puntuales hacen que estos trabajos de investigación tengan un valor científico y técnico incalculable, gracias por todo.

El laboratorio de Fitopatología de la Universidad de San Carlos, en especial a Teresa Guerra, Brenda García, Nadia, Don Julio, a Arturo y a Pedro.

El laboratorio de Ciencias Biológicas, en especial a Víctor Domingo Reyes, por su valiosa ayuda brindada durante la realización de esta investigación.

Gesly Aníbal Bonilla, gracias amigo, por haberme ayudado cuando más lo necesitaba.

El Área de Ciencias Biológicas en General. Por ayudarme en mi formación como profesional.

## INDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
<b>INDICE GENERAL</b>	i
<b>INDICE DE CUADROS</b>	iii
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	iv
<b>RESUMEN</b>	vii
<b>1. INTRODUCCION</b>	1
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	3
<b>3. MARCO TEORICO</b>	4
3.1 Marco Conceptual	4
3.1.1 Origen del cultivo de la papa	4
3.1.2 Descripción de la papa	4
3.1.2.1 Descripción botánica	4
3.1.2.2 Clasificación taxonómica	6
3.1.2.3 Valor nutritivo	6
3.1.3 Principales zonas de producción	6
3.1.4 Principales variedades cultivadas	7
3.1.5 Situación actual e importancia del cultivo de la papa	8
3.1.6 Características de los nematodos fitopatógenos	8
3.1.6.1 Morfología	8
3.1.6.2 Anatomía	9
3.1.6.3 Biología y ciclo de vida	9
3.1.6.4 Ecología y distribución	10
3.1.6.5 Características parasíticas de los nematodos	11
3.1.6.6 Síntomas y daños causados por nematodos	11
3.1.6.7 Población y patrón de distribución	12
3.1.7 Clasificación taxonómica de la subfamilia	
<i>Heteroderinidae</i>	13
3.1.7.1 Descripción general de la subfamilia	13
3.1.7.2 Descripción de los géneros de la subfamilia	14
3.1.7.2.1 <i>Afenestrata</i>	14
3.1.7.2.2 <i>Cactodera</i>	14

3.1.7.2.3 <i>Dolichodera</i>	15
3.1.7.2.4 <i>Punctodera</i>	16
3.1.7.2.5 <i>Heterodera</i>	16
3.1.8 Características del Género <i>Globodera</i>	17
3.1.8.1 Biología y ciclo de vida	18
3.1.8.2 Distribución geográfica	20
3.1.8.3 Importancia económica	21
3.1.8.4 Identificación	21
3.1.8.5 Patogenicidad y magnitud del daño	23
3.1.8.6 Dinámica poblacional y difusión	24
3.1.8.7 Muestreo	25
3.1.8.8 Confirmación	26
3.1.8.9 Tratamiento	26
3.1.8.10 Estudios realizados recientemente	26
3.1.8.11 Aspectos legales cuarentenarios	27
3.2 Marco Referencial	29
3.2.1 Ubicación geográfica	29
3.2.2 Colindancias	29
3.2.3 Zona de vida	29
3.2.4 Clima	30
3.2.5 Relieve	30
3.2.6 Suelos	30
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>31</b>
<b>5. HIPOTESIS</b>	<b>32</b>
<b>6. METODOLOGIA</b>	<b>33</b>
6.1 Definición del Marco de Muestreo	33
6.2 Planificación de Muestreo	33
6.2.1 Selección de parcelas a muestrear	34
6.3 Fase de Campo	34
6.3.1 Toma de muestra	34
6.3.2 Manejo de las muestras	35
6.4 Fase de Laboratorio	36
6.4.1 Extracción y aislamiento de nematodos	36

6.4.2 Procedimiento para la extracción de quistes	36
6.4.3 Determinación	37
6.4.3.1 Preparación de montajes de fenestralias de quistes	40
6.4.4 Bioensayo	40
<b>7. RESULTADOS</b>	<b>42</b>
7.1 Densidades y Determinación Géneros de Nematodos	42
7.1.1 Género <i>Globodera</i>	42
7.1.1.1 Densidades	42
7.1.1.2 Características	43
7.1.2 Género <i>Cactodera</i>	47
7.1.2.1 Densidades	47
7.1.2.2 Características	48
7.1.3 Género <i>Punctodera</i>	49
7.1.3.1 Densidades	49
7.1.3.2 Características	50
7.2 Presencia e Interacción de los Distintos Géneros	51
7.2.1 Presencia de Nematodos de Quiste en Jalapa	51
7.2.2 Interacción de los distintos Géneros en Jalapa	53
7.3 Resultados del Bioensayo	54
7.4 Consideraciones Finales	56
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>58</b>
<b>9. RECOMENDACIONES</b>	<b>59</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>60</b>
<b>11. APENDICES</b>	<b>64</b>

**INDICE DE CUADROS**

CONTENIDO	PÁGINA
Cuadro 1 Principales diferencias entre <i>G. rostochiensis</i> y <i>G. pallida</i>	22
Cuadro 2 Localidades con presencia positiva del género <i>Globodera</i>	45
Cuadro 3 Datos biométricos de quistes pertenecientes al género <i>Globodera</i> presentes en Jalapa y su comparación con otras especies del género	46
Cuadro 4 Interacción de géneros de nematodos en Jalapa	54
Cuadro 5 “A” Ubicación y presencia de géneros de nemátodos de quiste asociados al cultivo de la papa en Jalapa	64

**INDICE DE FIGURAS**

CONTENIDO	PÁGINA
Figura 1 Representación gráfica de una planta de papa	5
Figura 2 Raíces de papa infectadas por <i>G. rostochiensis</i>	19
Figura 3 Porción de tubérculo infectado por <i>G. pallida</i>	20
Figura 4 Cortes perineales de quistes de <i>G. rostochiensis</i> y <i>G. pallida</i>	22
Figura 5 Quistes pertenecientes al género <i>Globodera</i>	43
Figura 6 Cortes perineales del género <i>Globodera</i>	44
Figura 7 Cortes perineales de fenestralia de quistes pertenecientes al género <i>Globodera</i> . Aumento 100 X	47
Figura 8 Quistes pertenecientes al género <i>Cactodera</i>	48
Figura 9 Cortes perineales del género <i>Cactodera</i>	49
Figura 10 Quiste perteneciente al género <i>Punctodera</i> .	50
Figura 11 Cortes de fenestralia de quistes pertenecientes al género <i>Punctodera</i> . Aumento 100 X	51
Figura 12 Presencia de nematodos de quiste en Jalapa	52
Figura 13 Presencia de los diferentes géneros de nematodos en el municipio de Jalapa	53

Figura 14 Macetas de papa utilizadas en el Bioensayo	54
Figura 15 A) Maceta de papa inoculada con quistes del género <i>Globodera</i> . B) Raíz de papa completamente sana	55
Figura 16 A) Raíz de una planta de papa completamente sana. B) Raíces de papa sanas y con presencia de estolones de papa	56
Figura 17 "A" Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea el Aguacate	67
Figura 18 "A" Mapa de ubicación de puntos en la aldea La Soledad	68
Figura 19 "A" Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea La Esperanza	69
Figura 20 "A" Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea Buena Vista	70
Figura 21 "A" Mapa de ubicación de puntos en la aldea El bosque	71
Figura 22 "A" Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea Guacamayas	72
Figura 23 "A" Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea Los Hernández	73
Figura 24 "A" Mapa de ubicación de puntos en la aldea Miramundo	74
Figura 25 "A" Mapa de ubicación de muestreo en la aldea El Sauzal	75

**ESTUDIO DE LOS NEMATODOS FORMADORES DE QUISTES EN PAPA *Solanum tuberosum* L., PARA DESCARTAR LA PRESENCIA DEL NEMATODO DORADO DE LA PAPA EN EL MUNICIPIO DE JALAPA, JALAPA**

**STUDY OF THE CYST NEMATODES IN POTATO *Solanum tuberosum* L., TO DISCARD THE PRESENCE OF THE GOLDEN NEMATODE IN JALAPA, JALAPA**

**RESUMEN**

Este estudio es parte de un proyecto a nivel nacional promovido por la Unidad de Normas y Regulaciones del Ministerio de Agricultura y Alimentación (MAGA), en el que se busca declarar como áreas libres del nematodo dorado todas las regiones cultivadas con papa del país. Para el municipio de Jalapa este cultivo se ha convertido en una fuente de alimento y además en una alternativa importante para el comercio de este municipio.

El cultivo de la papa *Solanum tuberosum* L. es muy susceptible al ataque de nematodos, los que a menudo causan pérdidas económicas en la cosecha en un alto porcentaje. A la especie de nematodo que por sus características patogénicas y epifíticas se le ha considerado como uno de los más importantes, es el nematodo dorado de la papa *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens, el cual está ampliamente distribuido en el mundo.

Debido a las pérdidas económicas que provoca este nematodo en el cultivo de la papa, los países que no tienen reportada esta plaga adoptan medidas de protección cuarentenarias hacia países afectados por la plaga, y van dirigidas especialmente a productos y sub-productos de plantas hospederas. En el 2,001, la Secretaría de Industria y Comercio de Honduras prohibió el ingreso temporal de papa procedente de Guatemala, por sospecharse que el nematodo dorado de la papa se encontraba presente en este país.

Motivo que confirma la necesidad imperante de realizar un estudio de determinación de los nematodos pertenecientes a la sub-familia *Heteroderinae* y en especial descartar la presencia del nematodo dorado *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens, para que el municipio de Jalapa sea declarado área libre de esta plaga y así poder comercializar y exportar papa sin obstáculo alguno.

Para la realización de este estudio se tomaron 96 muestras de suelo en áreas utilizadas para el cultivo de la papa, cada uno de los puntos de muestreo fue geo-referenciado con un sistema de localización global vía satélite con el fin de representar los puntos muestreados en mapas. Las muestras de suelo obtenidas fueron procesadas en el laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Agronomía, donde además se realizó la extracción y aislamiento de nematodos utilizando la técnica de flotación de quistes de Fenwick modificado con flotación en acetona. Los quistes colectados fueron determinados en base a parámetros básicos de su anatomía y morfología como la forma, presencia o ausencia del cono vulval y datos biométricos obtenidos de los montajes de fenestralias de quistes.

En este estudio se determinaron tres diferentes géneros pertenecientes a la sub-familia *Heteroderinae*, los cuáles se encuentran en las áreas cultivadas con papa en el municipio de Jalapa, estos nematodos pertenecen a los géneros *Cactodera*, *Globodera* y *Punctodera*. Se encontraron 27 muestras con la presencia del género *Cactodera*, que ha sido reportado como parásito de plantas de la sub-clase Caryophyllidae, 6 muestras con nematodos del género *Globodera*, cuya patogenicidad ha sido reportada para solanáceas y 1 muestra con la presencia de nematodos del género *Punctodera*, la patogenicidad para este género ha sido reportada para varias especies de la familia Poaceae. Se finalizó este estudio con la realización de un bioensayo para evaluar la patogenicidad de los nematodos pertenecientes al género *Globodera*, se inocularon quistes de este género en macetas sembradas con papa, luego de 65 días los nematodos no provocaron daño alguno a las raíces de la planta de papa.

Las características patogénicas, morfométricas y morfológicas de los nematodos del género *Globodera* encontrados en estas áreas del país no coinciden con las del nematodo dorado de la papa, por lo cual se descarta la presencia de este nematodo en las áreas muestreadas en Jalapa.

## 1. INTRODUCCION

Los nematodos fitoparásitos representan una de las plagas más importantes en la agricultura. Su amplia distribución y su condición de microorganismos polífagos, representa un factor negativo sobre la economía agrícola, afectando la calidad de los productos de consumo como la papa.

El cultivo de la papa *Solanum tuberosum* L. es muy susceptible al ataque de nematodos, los que a menudo causan pérdidas económicas en la cosecha en un alto porcentaje. A la especie de nematodo que por sus características patogénicas y epifíticas se le ha considerado como uno de los más importantes, es el nematodo dorado de la papa *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens, el cual está ampliamente distribuido en el mundo.

Debido a las pérdidas económicas que provoca este nematodo en el cultivo de la papa, los países que no tienen reportada esta plaga adoptan medidas de protección cuarentenarias hacia países afectados por la plaga, y van dirigidas especialmente a productos y sub-productos de plantas hospederas.

Centroamérica estuvo libre de la presencia del nematodo dorado hasta finales del año de 1,967, cuando se encontró en Panamá (36). A inicios de 1,972 se reportó la presencia del nematodo dorado de la papa en México y en octubre de ese mismo año se reportó en Costa Rica (36). En el año de 1,980 se realizó un estudio en Guatemala y no se encontró la presencia de dicho nematodo (16).

Pero en el 2,001, la Secretaría de Industria y Comercio de Honduras prohibió el ingreso temporal de papa procedente de Guatemala, por sospecharse que el nematodo dorado de la papa se encontraba presente en este país.

Tomando en cuenta las implicaciones comerciales, que para Guatemala representa la presencia de este nematodo, además de la importancia de realizar la determinación de la presencia de diferentes géneros de la sub-familia *Heteroderinae* se planteó el siguiente estudio. El objetivo principal de esta investigación fue el de descartar la presencia del nematodo dorado de la papa *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens, en el municipio de Jalapa, para lo cual se realizó un muestreo de las áreas cultivadas con papa.

Los resultados obtenidos indican que en las 96 muestras obtenidas del área de estudio no existió la presencia de *G. rostochiensis* (Woll) Behrens, sin embargo se encontraron 27 muestras con la presencia del género *Cactodera*, 6 muestras con nematodos pertenecientes al género *Globodera* y 1 muestra con la presencia de nematodos del género *Punctodera*. Las características patogénicas, morfométricas y morfológicas de los nematodos pertenecientes al género *Globodera* encontrados en estas áreas del país no coinciden con las del nematodo dorado de la papa, por lo cual se descarta la presencia de este nematodo en las áreas muestreadas en Jalapa.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Considerando el beneficio económico que representa el cultivo de la papa para los productores y exportadores de este municipio, se pretende descartar la presencia del nematodo dorado *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens, así como determinar los diferentes géneros de la sub-familia *Heteroderinae*, para evitar perder oportunidades de exportar y comercializar el producto debido a la suposición de la presencia de esta plaga en el país.

Según datos estimados del Banco de Guatemala y de la Unidad Sectorial de Planificación Agropecuaria y de Alimentación (USPADA), se cosecharon para el año del 2,001 19.4 miles de hectáreas de papa, con un rendimiento promedio de 23.95 tm/ha (47). El área útil de siembra reportada para el municipio de Jalapa según la coordinadora departamental es de 200 hectáreas, con un rendimiento estimado de 150 a 200 quintales de papa por hectárea respectivamente, por lo que este cultivo se convierte en una fuente potencial de alimento y además en una alternativa importante para el comercio de este municipio y de Guatemala en general.

Este estudio es parte de un proyecto a nivel nacional promovido por la Unidad de Normas y Regulaciones del Ministerio de Agricultura y Alimentación (MAGA), en el que se busca declarar como áreas libres del nematodo dorado todas las regiones cultivadas con papa del país. Motivo que confirma la necesidad imperante de realizar un estudio de determinación de los nematodos pertenecientes a la sub-familia *Heteroderinae* y en especial descartar la presencia del nematodo dorado *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens, para que el municipio de Jalapa sea declarado área libre de esta plaga y así poder comercializar y exportar papa sin obstáculo alguno.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 Marco Conceptual

##### 3.1.1 Origen del cultivo de la papa *Solanum tuberosum* L.

El centro de origen de la papa *Solanum tuberosum* L. y sus parientes más afines se encuentra en América, y su distribución es desde el Sur-Oeste de Estados Unidos de Norteamérica hasta las islas mojadas de los Chonos. A lo largo de toda la cordillera andina encontramos una gran variabilidad especies y entre ellas 176 son silvestres y sólo siete cultivadas. La mayor variabilidad de especies se ubica en los andes peruano-bolivianos, en donde los pueblos aborígenes empezaron a usar tempranamente esta planta en su alimentación. Existen datos arqueológicos de uso de papa en Perú con 8.000 años de antigüedad (17).

Según Henkes y Dunn (1,981) las primeras siembras estuvieron cercanas a las orillas del lago Titicaca, entre las fronteras de Perú y de Bolivia. En Europa fue introducida en el año de 1,570. Actualmente su consumo se ha extendido, formando parte de la dieta alimenticia en varios países del mundo (17).

##### 3.1.2 Descripción de la papa *Solanum tuberosum* L.

###### 3.1.2.1 Descripción botánica

Es una planta anual herbácea, con hojas alternas, simples, sin estípulas; inflorescencia cimosa, con flores bisexuales, actinomorfas, cáliz de 5 sépalos unidos, persistente; corola de 5 pétalos unidos rotados; androceo de 5 estambres insertos en el tubo de corola y alternos con sus lóbulos; gineceo constituido por un pistilo compuesto de 2 carpelos con 2 lóculos, óvulos numerosos, placentación axilar, ovario súpero, estilo terminal (Figura 1).

El fruto es una baya, semillas con un embrión curvo o recto dentro de un espermo, de sabor desagradable y probablemente venenosa, con semillas fértiles, pero que no se emplean para la propagación, excepto cuando se desea obtener nuevas variedades. Debajo del suelo, a partir del extremo de un estolón se forman los tubérculos cargados de almidón.

En cuanto al clima final la papa se produce en climas templados y fríos adaptándose bien a alturas comprendidas entre los 1,000 a 2,400 msnm, con temperaturas óptimas para un buen desarrollo de 16 a 24 °C hasta un mínimo de 12 °C. Su propagación es típicamente asexual, por medio de tubérculos o fragmentos que tengan ojos (yemas rudimentarias) (27).



**Figura 1** Representación gráfica de una planta de papa *Solanum tuberosum* L.

Fuente: [www.hort.purdue.edu](http://www.hort.purdue.edu)

### 3.1.2.2 Clasificación taxonómica de la papa

Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Género:	Solanum
Especie:	<i>Solanum tuberosum</i> L. (27).

### 3.1.2.3 Valor nutritivo

La papa es de gran valor nutritivo, posee un bajo valor de proteína respecto a la que posee la carne pero logra superar a la que posee el trigo, la avena y las verduras. La composición química de la papa puede variar de acuerdo al clima, fertilidad del suelo, verduras y algunas otras condiciones que favorezcan a la formación de un buen tubérculo (17).

### 3.1.3 Principales zonas de producción

De acuerdo a las condiciones bioclimáticas de las regiones, dentro de las áreas óptimas para el cultivo de la papa se encuentran los siguientes departamentos: Huehuetenango, San Marcos, Quetzaltenango, Sololá, Chimaltenango, Sacatepéquez, Quiché, Totonicapán, Guatemala, Alta Verapaz, Baja Verapaz, Jutiapa y Jalapa ( 17).

### 3.1.4 Principales variedades cultivadas

Según Campos citado por Gudiel (24), las variedades de papa que más se cultivan en Guatemala son:

#### 3.1.4.1 Loman

Es una variedad que se adapta bien a las altitudes de 1,700 a 2,500 msnm. La planta alcanza alturas de 0.60 a 0.70 metros con tallos erectos que al madurar toman el hábito rastrero. Su follaje es verde oscuro y por lo regular no florea. Tiene tubérculos alargados y ligeramente aplanados, con ápices terminados en punta, de color amarillo crema en su exterior y crema en su interior. El ciclo vegetativo es de 90 a 100 días. Susceptibilidad al tizón tardío y un rendimiento por manzana de 640 a 930 quintales por hectárea.

#### 3.1.4.2 Atzimba

Se adapta bien a las altitudes de 1,800 a 2,900 msnm. Es una planta de 0.70 a 0.80 metros de altura, con tallos erectos fuertes, color verde pálido, flores blancas y tubérculos redondos o redondos alargados. Ciclo vegetativo de 100 a 120 días, con una susceptibilidad moderada al tizón tardío. Rendimientos de 640 a 930 quintales por hectárea.

#### 3.1.4.3 Tollocan

Variedad que parece ser una buena alternativa, por su resistencia a enfermedades, alto rendimiento y aceptación. Con rendimientos comerciales de 570 quintales por hectárea. Las plantas tienen una altura de 0.70 a 0.80 metros. Poseen flores blancas, tubérculos redondos y planos, con ojos poco profundos, piel de color amarillo crema y su interior amarillo intenso. Tienen un ciclo vegetativo de 100 a 110 días.

### 3.1.5 Situación actual e importancia del cultivo de la papa en Guatemala

La producción actual de papa para la exportación sobrepasa los 710.10 miles de quintales, generando \$ 4,047,570.00 en ingresos para el país. El rendimiento por manzana estimado es de 335.4 quintales. Cada quintal con un precio promedio de \$ 20. Esto para el año del 2001 (47).

Según el área de información de la Unidad de Planificación e Información estratégica del MAGA el precio del quintal de papa Loman en el mercado de la terminal a precio de mayorista es de 22 a 24 dólares para el mes de Enero del 2005.

Por lo tanto el cultivo de la papa se constituye en uno de los principales generadores de divisas gracias a la exportación de este producto, pero a la vez tiene bastante importancia en el mercado local. Ya que se mantiene un área cosechada de 13.6 mil de manzanas con una producción promedio de 4,450 miles de quintales de papa tanto para producción de semilla como para consumo en fresco.

### 3.1.6 Características de los nematodos fitopatógenos

#### 3.1.6.1 Morfología

Son organismos pequeños de 300 a 1000  $\mu\text{m}$ , siendo algunos de mayores a 4  $\mu\text{m}$  de longitud por 15 a 35  $\mu\text{m}$ , de ancho. Su diámetro pequeño hace que no sean observables a simple vista, pero se pueden ver con facilidad en el microscopio. Los nematodos tienen, en general, forma de anguila y en corte transversal se ven redondos, presentan cuerpos lisos no segmentados y carecen de patas u otros apéndices. Sin embargo, las hembras de algunas especies se hinchan en la madurez y adquieren la forma de una pera o de cuerpos esferoides (1).

### 3.1.6.2 Anatomía

El cuerpo de un nematodo es más o menos transparente. Está cubierto por una cutícula incolora que a menudo presenta estrías u otros detalles. Esta cutícula presenta la muda cuando los nematodos pasan a través de sus etapas larvarias sucesivas. Dicha cutícula se produce por la hipodermis, la cual consta de células vivas y se extiende en la cavidad del cuerpo a manera de 4 cordones que separan 4 bandas de músculos longitudinales. Estos músculos permiten que el nematodo pueda moverse. En la boca y a lo largo del tracto digestivo y de las estructuras reproductoras hay otros músculos especializados (1).

La cavidad del cuerpo contiene un líquido a través del cual se efectúa la circulación y la respiración del nematodo. El sistema digestivo es un tubo hueco que se extiende desde la boca, pasando por el esófago hasta el intestino, el recto y el ano. Por lo regular existen seis labios que rodean a la boca. Todos los nematodos poseen un estilete hueco o lanza que utilizan para perforar las células vegetales (1).

El sistema reproductor está bien desarrollado. Los nematodos hembras poseen uno o dos ovarios seguidos por un oviducto y un útero que termina en una vulva. La estructura reproductora del macho es semejante a la de la hembra pero hay un testículo, una vesícula seminal y termina en un orificio común en el intestino. En el macho hay un par de espículas copulatorias sobresalientes (1).

### 3.1.6.3 Biología y ciclo de vida

El ciclo de vida de la mayoría de los nematodos fitoparásitos es, por lo general, bastante semejante. Los huevecillos se incuban y se desarrollan en larvas, cuya apariencia y estructura es comúnmente similar a la de los nematodos adultos. Las larvas aumentan de tamaño y cada etapa larvaria concluye mediante una muda (1).

El ciclo de vida de los nematodos consiste en huevo, cuatro estados juveniles ( J1, J2, J3, J4 ) y el estado adulto. El estado juvenil 3 es el estado infectivo de la mayoría de nematodos fitoparásitos. El primer estado juvenil se desarrolla dentro del huevo, cuando la primer muda ocurre. En el segundo estado juvenil sale del huevo para buscar e infectar las raíces de las plantas, alimentándose de los fluidos de las células y en algunos casos del tejido foliar. Dependiendo de la especie, la alimentación ocurre a lo largo de toda la superficie de la raíz o como en otras especies que forman agallas, los estados juveniles jóvenes invaden el tejido de la raíz, estableciéndose permanentemente y alimentándose de los sitios de alrededor. A partir del segundo estado juvenil mudará tres veces, hasta ser un adulto (1).

La ausencia de hospedantes apropiados ocasiona la muerte de todos los individuos de ciertas especies de nematodos al cabo de unos cuantos meses, pero en otras especies los las etapas larvarias pueden desecarse y permanecer en reposo en el suelo durante años (1).

#### 3.1.6.4 Ecología y distribución

La mayoría de nematodos fitopatógenos viven parte de su vida en el suelo. La mayor parte de ellos vive libremente en el suelo, alimentándose superficialmente de las raíces y tallos subterráneos de las plantas, pero aún en el caso de los nematodos sedentarios especializados, los huevecillos, las etapas larvarias preparásitas y los machos se encuentran en el suelo durante toda su vida o gran parte de ella. La temperatura, humedad y aireación en el suelo afectan a la supervivencia y a al movimiento de los nematodos en el suelo. Los nematodos se encuentran con mayor abundancia en la capa de suelo comprendida entre los 0 y 15 cm de profundidad. La mayor concentración de nematodos en la región radical de la planta hospedante se debe principalmente a su más rápida reproducción cuando el alimento es abundante y también a la atracción que tienen por las sustancias liberadas en la rizósfera (1).

Los nematodos se distribuyen en el suelo muy lentamente por su propia capacidad, recorriendo no más de 1m de distancia. El equipo agrícola, la irrigación, el agua inundada o de drenaje, las patas de los animales y las tolveneras distribuyen los nematodos en área locales, mientras que a grandes distancias los nematodos se distribuyen principalmente por los productos agrícolas y las plantas de los viveros.

#### 3.1.6.5 Características parasíticas de los nematodos

Un nematodo para que pueda ser considerado parásito debe de cumplir con ciertas características:

- a) Que esté morfológicamente adaptado al parasitismo de las plantas (presencia de estomatoestilete, odontoestilete u onchoestilete) y el tipo de esófago por su actividad enzimática.
- b) Que el nematodo se alimente de las plantas con una acción continua de su estilete, ya que puede alimentarse ocasionalmente y no ser parásito de plantas.
- c) Que el nematodo se reproduzca en la planta o en su rizosfera, está es la condición más importante (10).

#### 3.1.6.6 Síntomas y daños causados por los nematodos

Producen síntomas tanto en las raíces como en los órganos aéreos de las plantas. Los síntomas de la raíz aparecen en forma de nudos, agallas o lesiones en ella, ramificación excesiva de la raíz, puntas dañadas de esta última y pudriciones de la raíz cuando las infecciones por nematodos van acompañadas por bacterias y hongos sáprofitos o fitopatógenos. Estos síntomas con frecuencia van acompañados por síntomas no característicos en los órganos aéreos de las plantas y que aparecen principalmente en forma de un menor crecimiento, síntomas de deficiencias en nutrientes como el amarillamiento del follaje, el marchitamiento excesivo en clima cálido o seco, una menor producción de las plantas y una baja calidad de sus productos (1).

La mayoría de los daños causados por los nematodos parecen ser ocasionados por una secreción de saliva que el nematodo inyecta a la planta al alimentarse. La rapidez de la alimentación es apreciable en algunas especies. En algunas otras la alimentación es más lenta y pueden permanecer por horas o días en la misma posición; estas especies así como las hembras que se establecen dentro o sobre las raíces, son las que causan mayores daños (1).

La alimentación de los nematodos, provoca que las células reaccionen causando la muerte o el debilitamiento de las yemas y puntas de la raíz, la formación de lesiones y la degradación de los tejidos, hinchamientos y agallas de varias clases, tallos y follaje retorcido y deformado. Estos síntomas pueden deberse tanto a la disolución de los tejidos como infectados por las enzimas, lo que produce la muerte de células y su desintegración de los tejidos o el alargamiento anormal de las células (Hipertrofia), cese de la división celular o la estimulación de ella que se efectúa en una forma controlada, dando como resultado la formación de agallas o de una gran cantidad de raíces laterales en o cerca de los puntos de infección. En algunos casos, son las interacciones bioquímicas entre la planta y el nematodo las que afectan negativamente la fisiología total de las plantas y la función de los nematodos de proporcionar los puntos de entrada para otros patógenos (1).

#### 3.1.6.7 Población y patrón de distribución de los nematodos

El límite superior de la población para cualquier especie de nematodo parásito de plantas depende de su potencia reproductora, de la especie de planta huésped y que el tiempo se encuentre en las condiciones más adecuadas para su reproducción. Los endoparásitos especializados y parásitos superficiales tienen una mayor potencia de reproducción que los ectoparásitos (6).

La disposición de una población, es la forma en que sus individuos se ubican en el espacio, y se refiere al patrón de distribución espacial. Este patrón es un elemento básico que permite explicar muchos de los comportamientos de los individuos. Los patrones de disposición espacial son tres:

- a) Patrón al Azar: cuando cada punto del espacio tiene igual probabilidad de estar habitado por un individuo.
- b) Patrón Agregado o Contagioso: cuando la presencia de un individuo en un sitio aumenta la probabilidad de encontrar otros en su vecindad.
- c) Patrón uniforme o Regular: Cuando la presencia de un individuo disminuye la probabilidad de encontrar otros allí.

La distribución típica sigue un patrón agregado o contagioso. Algunos factores como el tipo de disposición de huevos, patogenicidad relativa, distribución de raíces, respuesta al microclima y la interacción entre enemigos naturales contribuyen al proceso de agregación (49).

### 3.1.7 Clasificación taxonómica de la subfamilia *Heteroderinae*

Phyllum:	<i>Nematoda</i>
Clase:	<i>Secernentea</i>
Sub-Clase:	<i>Diplogasteria</i>
Orden:	<i>Tylenchida</i>
Sub-orden:	<i>Tylenchina</i>
Superfamilia:	<i>Heteroderoidea</i>
Familia:	<i>Heteroderidae</i>
Sub-familia:	<i>Heteroderinae</i> (48).

#### 3.1.7.1 Descripción general de la subfamilia *Heteroderinae*

Hembras maduras con forma esférica, de pera o parecido a limón con un cuello corto, que se tornan duras, fuertes, amarillentas, formando quistes de color claro a un café oscuro o negro.

Los quistes contienen huevos y estados juveniles, algunos huevos se encuentran inmersos en una matriz gelatinosa. La superficie de la cutícula posee un patrón en zigzag o parecido a un encaje. La vulva y ano se encuentran cerca uno de otro, casi en la parte terminal, en un relieve vulval cónico o en uno plano o cóncavo. Presente una fenestra vulval clara; únicamente en *Punctodera* se encuentra una fenestra anal. Los machos se desarrollan a través de metamorfosis, poseen una región cefálica anillada, cuatro incisuras en la región lateral y una cola semi-esférica muy corta, raramente la cola esta ausente. Bursa ausente. Los géneros más importantes son: *Afenestrata*, *Dolichodera*, *Globodera*, *Cactodera*, *Punctodera* y *Heterodera* (48).

### 3.1.7.2 Descripción de los géneros de la subfamilia *Heteroderinae*

#### 3.1.7.2.1 *Afenestrata* Baldwin y Bell, 1985

Las hembras presentan forma esférica, sub-esférica o cuando maduras en forma de limón, con un cuello corto proyectante. Cutícula relativamente delgada, con superficie estríada o con orientación al patrón parecido a encaje. Capa – D ausente. Vulva terminal, en una protuberancia parecida a un cono, posee labios prominentes; la incisión vulval puede estar profundamente hundida. Etapa de quiste presente, el quiste no presenta fenestra vulval y sin bullae; sub-puente presente o ausente, sin fenestración anal. Cuerpo de los machos torcido en la región posterior, con cuatro incisuras en la región lateral, estilete de 24-28  $\mu\text{m}$  de largo. Espículas rectas posteriormente dirigidas y un tubo cloacal presente. Cola ausente y fasmidios no vistos (48).

Sp. *Afenestrata africana* Baldwin & Bell 1985

#### 3.1.7.2.2 *Cactodera* Krall & Krall, 1978

Hembras y quistes de forma esférica, con una protuberancia terminal (cono vulval) presente en hembras maduras, las hembras son de color amarillento, quistes de color café oscuro. La superficie cuticular posee patrones característicos, con líneas toscamente paralelas interrumpidas por líneas oblicuas cortas verticales.

Capa – D presente, incisión vulval pequeña (13 – 20  $\mu\text{m}$ ), fenestra vulval circunfenestrada, 20 a 48  $\mu\text{m}$  en diámetro. Bullae ausente, dentrículos vulvales usualmente presentes. Sin fenestración anal. Huevos con la superficie punteada (en alguna especie) o sin ningún tipo de marcas visibles; todos los huevecillos (300 a 400) son retenidos en el quiste; no se forma una masa de huevecillos. Machos con un largo hasta de 1.7  $\mu\text{m}$ ; zona terminal posterior torcida. Disco labial presente pero no prominente. Estilete de 26-29  $\mu\text{m}$ ; espículas de 32-36  $\mu\text{m}$  de largo, distalmente afiladas con una punta bífida; gubernáculo de 10-12  $\mu\text{m}$  de largo en algunas especies. Cola con un tamaño de  $\frac{1}{4}$  del cuerpo del nematodo, labios cloacales sin formar tubo (48).

Sp. *Cactodera cacti* Krall & Krall 1978

### 3.1.7.2.3 *Dolichodera* Mulvey & Ebsary, 1980

Hembras poseen cuerpo elongado-oval, sin protuberancia terminal, posee una parte ondulada blanca de 400 a 500  $\mu\text{m}$  de largo, 140 – 270  $\mu\text{m}$  de ancho; 2 – 2.8 veces más largo que ancho. Cuello moderadamente largo. Posee una cutícula de de 3 a 4  $\mu\text{m}$  de grosor, no es anillado pero sí con estrías irregulares. Area vulval terminal o casi sub-terminal, circunfenestrado, fenestra de 20  $\mu\text{m}$  de diámetro. Bullae presente, tubérculos perineales ausentes. Ano poroso sin fenestra, de 10 a 13  $\mu\text{m}$  de margen dorsal a vulva fenestral. Estilete bien desarrollado, 15  $\mu\text{m}$  de largo en alguna especie. Hembra madura con más de 100 huevecillos desarrollados en varias etapas.

Quistes de coloración café claro, elongado – oval en forma, 450 – 700  $\mu\text{m}$  de largo, por 140 – 300  $\mu$  de ancho, 1.8 – 4.0 (2.6) veces más largo que ancho, posee cuello largo. Cutícula de 3 a 4  $\mu\text{m}$  de grosor. Varios Bullae de tamaño grande presentes. Túberculos perineales ausentes. Vulva circunfenestrada, ano sin fenestra (48).

Sp. *Dolichodera fluvialis* Mulvey & Ebsary, 1980

#### 3.1.7.2.4 *Punctodera* Mulvey & Stone, 1976

Hembras maduras y quistes de forma esférica, parecido a pera u oval, con cuello corto proyectante y con una capa subcristalina pesada. Cutícula reticulada, sub-cutícula con puntuaciones. Presente capa – D. Región terminal sin forma de cono; quiste de color café claro a oscuro. Incisión vulval extremadamente corta (menos de 5  $\mu\text{m}$ ), el ano se encuentra a una distancia corta del labio vulval. Circunfenestrado, fenestra rodeando la vulva, de 16 a 40  $\mu\text{m}$  (de 20  $\mu\text{m}$  en algunas sp.) de diámetro. El ano se encuentra cerca del margen ventral de la fenestra. Fenestra anal presente de igual tamaño y forma que la fenestra vulval.

Túberculos perineales parecido a a papilas ausentes así como el sub-puente. Bullae usualmente ausente. Huevecillos retenidos en el cuerpo, el saco de huevecillo no es formado. Machos vermiformes, debajo de los 1.5 mm de largo. Disco labial presente, pero no prominente. Estilete bien desarrollado, 23 – 28  $\mu\text{m}$  de largo. Posee un orificio en la glándula esofageal dorsal de 2.6 – 4.6  $\mu\text{m}$ , justo detrás de la base del estilete. Espiculas de 31–33  $\mu\text{m}$  de largo, distalmente afiladas. Largo de cola menor que el ancho de la mitad del cuerpo anal; labios cloacales sin formar tubo (48).

Sp. *Punctodera punctata* Mulvey & Stone 1976

#### 3.1.7.2.5 *Heterodera* Scmidth, 1871

Hembras maduras y quistes presentan forma de limón, poseen un cuello corto y un cono terminal, este se convierte en quiste de pared dura, coloración de café a negro., con un patrón en zig-zag o parecido a un encaje. Posee Capa-D en la cutícula, rudimentaria o ausente, capa de suberestalina presente o ausente. Vulva terminal, incisión de 10 a 60  $\mu\text{m}$  de largo. Presentan un ano dorsal sub-terminal cerca de la vulva no en el labio de la vulva. Fenestración vulval presente, ambifenestrado, bifenestrado o raramente circunfenestrado; fenestración anal ausente. Los huevecillos son retenidos en el cuerpo pero frecuentemente en matriz gelatinosa.

Los machos presentan una región lateral cada una con cuatro encisuras, banda externa usualmente aereolada. Región cefálica generalmente compensada con una constricción, posee de 3 a 6 anulos; disco labial indistinto. Final de cola torcida. Espículas robustas, de más de 30 µm de largo, con una punta bifida simple o abultada (48).

Sp. *Heterodera shactii* A. Schmidt, 1871

### 3.1.8 Características del género *Globodera* y las especies asociadas al cultivo de la papa *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens y *Globodera pallida* (Stone) Behrens

Entre los parásitos que atacan a la papa *Solanum tuberosum* L., los nematodos juegan un papel muy importante en muchos países.

Setenta especies de nematodos han sido señaladas en el cultivo de la papa (20). Sin embargo, los formadores de quistes, *Globodera rostochiensis* (Woll.) Behrens y *Globodera pallida* (Stone) Behrens, son considerados los más dañinos y afectan el rendimiento de este cultivo en la mayoría de las zonas paperas del mundo (19). Debido a la coloración amarilla de las hembras, *G. rostochiensis* es conocido también como el nematodo dorado de la papa.

Se considera que estos nematodos son originarios de los países andinos, especialmente Perú y Bolivia. Sin embargo, estudios recientes de ADN ribosomal, hacen pensar que el centro de origen sea más bien México (15).

Es importante señalar, que *Heterodera* (= *Globodera*) *rostochiensis* Woll., fue detectado por primera vez en Alemania en el año 1881 y descrito en 1923 por Wollenweber, a partir de una población colectada en Rostok. En 1973, Stone, observó la existencia de poblaciones del nematodo cuyas hembras no presentaban la coloración amarilla y, basándose en características morfométricas de los estados juveniles y la cromogénesis de las hembras, describió a estas poblaciones como *Heterodera* (= *Globodera*) *pallida*, nueva especie de nematodo quiste de la papa (45).

Posteriormente, los nemátodos formadores de quistes fueron agrupados en seis géneros incluyendo en el género *Globodera*, a las especies con quistes esféricos como eran *H. rostochiensis* y *H. pallida*. Desde Alemania el nematodo se dispersó a los otros países europeos y a otros continentes, incluyendo América Latina, probablemente con el comercio de tubérculos de papa para semilla.

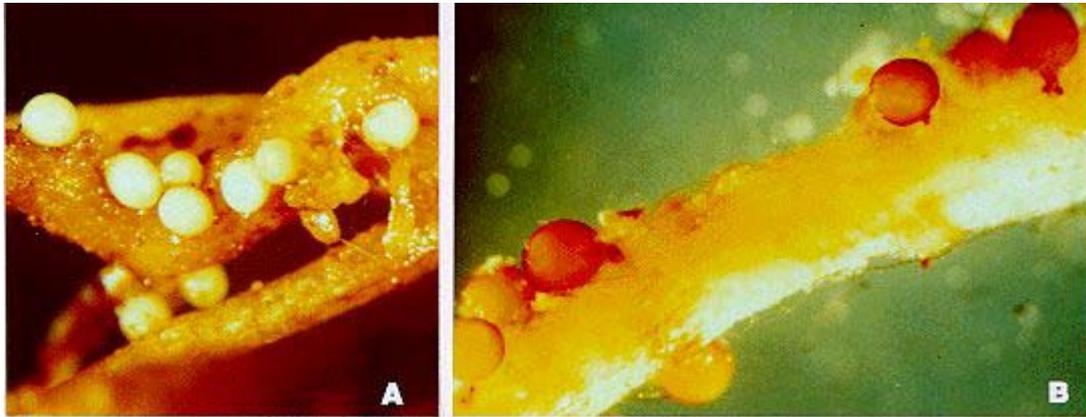
#### 3.1.8.1 Biología ciclo de vida

*G. rostochiensis* (Woll) Behrens y *G. pallida* (Stone) Behrens son nematodos endoparasíticos sedentarios, que permanecen normalmente en el suelo por 5-6 años y a veces hasta por 20. Cada quiste joven contiene 200-500 huevos. Después de la siembra, las raíces de la planta huésped, papa en este caso, producen exudados radicales que estimulan la eclosión de los huevos, de los cuales emergen los juveniles de segundo estado. Estos miden entre 470 y 500  $\mu\text{m}$  de largo y entre 18 y 19  $\mu\text{m}$  de ancho. Al salir del huevo, siendo el único estado infectivo, migra hacia el ápice radical por donde penetra. Después de recorrer algunos milímetros de la raíz, el juvenil se detiene y continúa su desarrollo como sedentario, pasando por tres estados juveniles (segundo, tercero y cuarto) antes de lograr el estado adulto (20).

En la familia *Heteroderidae*, a la cual pertenece el género *Globodera*, existe un dimorfismo sexual muy marcado. Mientras el segundo estado juvenil es móvil y vermiforme, el tercero y cuarto estado juvenil, así como las hembras adultas, son inmóviles y abultados. Las hembras son esféricas miden 500-600  $\mu\text{m}$  de diámetro (Fig. 2A). El tamaño es afectado por el huésped y por el nivel poblacional del nematodo, siendo más pequeñas cuando la población es elevada o el huésped se encuentra fuertemente dañado. El macho adulto es móvil y vermiforme y mide aproximadamente 1200  $\mu\text{m}$  de largo y 28  $\mu\text{m}$  de ancho; sin embargo, a veces se encuentran ejemplares que miden un poco más de la mitad del largo normal.

Su capacidad patogénica no ha sido demostrada. La hembra posee un aparato reproductivo muy desarrollado y después de ser fecundada produce gran cantidad de huevos (hasta 500) que retiene en el interior del cuerpo. Cada huevo mide aproximadamente 40 x 80  $\mu\text{m}$ .

En *G. rostochiensis* la hembra adulta adquiere una coloración amarillenta, luego se transforma en quiste. En comparación con la hembra madura, el quiste tiene una cutícula más gruesa y de color castaño oscuro (Fig. 2B) para proteger los huevos contenidos (20).



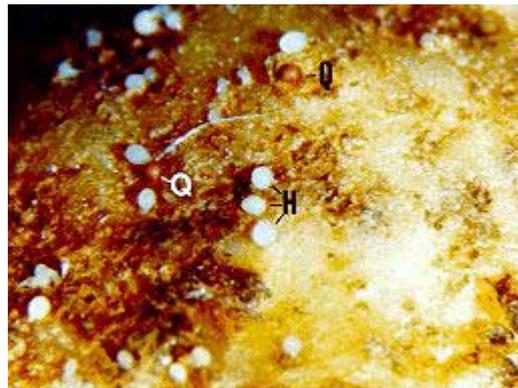
**Figura 2** Raíces de papa infectadas con *G. rostochiensis*. A) hembras; B) quistes.

Fuente: [www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html](http://www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html)

Los quistes no se alimentan y se desprenden fácilmente de las raíces o de los tubérculos. Los huevos, al final del desarrollo embrionario, aproximadamente después de 2-3 semanas, contienen juveniles de segundo estado.

En países de clima templado, al final del ciclo de la papa (otoño), la mayoría de los huevos permanecen en estado de latencia y eclosionan en la primavera siguiente (23). El período de tiempo que el nematodo necesita para cumplir una generación, desde la penetración del juvenil de segundo estado hasta la formación de quistes con huevos, es de 45-60 días, según las condiciones ambientales. Si se considera una temperatura de 10°C como la mínima a la cual el nematodo puede comenzar su desarrollo, puede cumplir una generación después de 400 grados-días. Las condiciones más favorables son una temperatura de 20-25°C y una humedad del suelo con pH de 2.6-4. Cuando las condiciones ambientales son desfavorables, como en casos de alta temperatura (28°C) y secías, cuando la planta se aproxima al final del ciclo o bien las raíces están muy dañadas, las hembras se transforman temprano en quiste y el ciclo se acorta, mientras que, cuando la temperatura del suelo es menor de 20°C, se alarga (29).

Estudios comparativos han demostrado que *G. pallida* se desarrolla mejor que *G. rostochiensis* a bajas temperaturas (29). Generalmente ocurre una sola generación por cada ciclo de cultivo de la papa. Una segunda generación puede empezar, pero difícilmente es completada; sin embargo, existen datos de que sí es posible (21). Algunas poblaciones de estos nemátodos no atacan mucho a los tubérculos, mientras que otras infectan y se desarrollan muy bien sobre ellos (Fig. 3), convirtiéndose, estos en medio de propagación, en un vehículo efectivo de diseminación del patógeno.



**Figura 3** Porción de un tubérculo de papa fuertemente afectado por *G.pallida*. Nótese las hembras de color blanco (H) y los quistes de color marrón (Q).

Fuente: [www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html](http://www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html)

*G. rostochiensis* y *G. pallida* tienen un rango de huéspedes muy reducido. Además de la papa, que es el huésped más susceptible, afectan tomate *Lycopersicum esculentum* Mill, berenjena *Solanum melongena* L. y alguna otra solanácea.

### 3.1.8.2 Distribución geográfica

El nematodo dorado ha continuado su dispersión alrededor del mundo en forma lenta y, actualmente, se reporta en más de 55 países afectados por la plaga.

La presencia del nematodo dorado se reporta para los siguientes países de América: América del Norte: Canadá,(New foundland, British Columbia e Isla (Vancouver), EEUU,(Nueva York; erradicada en Delaware) y México. América Central y Caribe: Panamá y Costa Rica.

América del Sur: Bolivia, Chile (Provincias: Parinacota, I Región; El Loa, II Región; Huasco, III Región; Elqui y Choapa, IV Región; Petorca y Quillota, V Región; Comuna Las Cabras, VI Región), Perú, Venezuela, Colombia, Ecuador e Islas Malvinas (13).

#### 3.1.8.3 Importancia económica

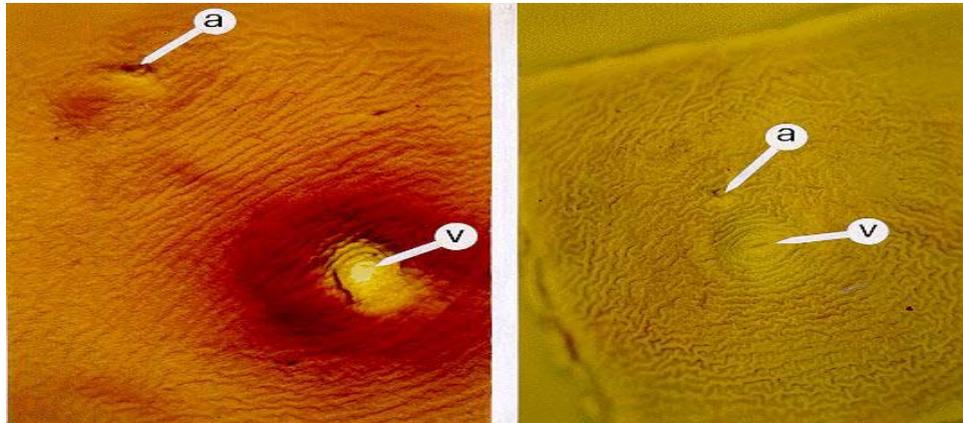
La importancia económica de los nematodos de quiste, está referida a las pérdidas ocasionadas a cultivos como la remolacha azucarera, papa y tomate. Datos importantes a este respecto son los señalados por Mai (31), quién menciona que en un área altamente infestada en Chile, no se logró recuperar siquiera la cantidad de semilla sembrada. Por otra parte Spears (43), señala que la disminución en la producción de tomate de quince, a menos de 2 toneladas por 0.4 ha. en Jersey. En Algeria, el mismo autor cita pérdidas estimadas en un 50 % en el cultivo de la papa, en una producción inicial estimada en 5,850 kg - 6,820 kg por hectárea (43).

Las pérdidas económicas ocasionadas por *G. rostochiensis* en cultivos de papas corresponden, con una población inicial entre 8 y 64 huevos/gr de suelo, de 20 a 70% de pérdidas respectivamente (36).

#### 3.1.8.4 Identificación

Aún cuando la coloración amarilla de las hembras indica claramente la presencia de *G. rostochiensis*, la ausencia de hembras con esta coloración en las raíces no garantiza que se trate de *G. pallida*, a menos que se observe el desarrollo del nematodo a lo largo de su ciclo biológico. La preparación de los cortes perineales de los quistes, colectados en las raíces de la planta de papa, y el conteo de las estrías cuticulares presentes entre el ano y la vulva, constituyen una manera simple de diferenciar las dos especies. *G. rostochiensis* posee un promedio de 21.6 estrías (44) y *G. Pallida* 12 (45) (Fig. 4). A veces, el número promedio puede ser de 15, lo cual causa confusión; en este caso, si es necesario identificar la especie, se deben medir otros parámetros, especialmente de hembras y quistes para hacer comparaciones con los valores reportados en la literatura (Cuadro 1).

La identificación con técnicas modernas y sofisticadas como son las basadas en reacciones serológicas (40), punto isoeléctrico (28), separación de proteínas, enzimas y pruebas de ADN (5), también es posible.



**Figura 4** Cortes perineales de quistes de *Globodera rostockiensis* (izquierda) y *G. pallida* (derecha). Nótese el número de estrías entre la vulva (v) y el ano (a): más de 20 en *G. rostockiensis* y menos de 12 en *G. pallida*.

Fuente: [www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html](http://www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html)

**Cuadro 1** Principales diferencias entre *G. rostockiensis* y *G. pallida*.

Características	G.rostockiensis	G. Pallida
Hembra		
Largo del estilete ( $\mu\text{m}$ )	22.9	27.4
Diámetro zona vulvar ( $\mu\text{m}$ )	22.4	24.8
Largo vulva ( $\mu\text{m}$ )	9.2	11.5
Número de estrías cuticulares entre el ano y la vulva	21.6	12.5
Coloración	amarillo	crema
Quiste		
Diámetro fenestra ( $\mu\text{m}$ )	18.8	24.5
Distancia ano-fenestra ( $\mu\text{m}$ )	66.5	49.9
Relación Granek's (1)	3.6	2.1

(1) Distancia ano-fenestra/diámetro fenestra.

Fuentes: Shluter, K. (1,976) y Schots A. Et al. (1,987)

### 3.1.8.5 Patogenicidad y magnitud del daño

A nivel histológico el daño es representado por necrosis de las células de las raíces atravesadas por los juveniles de segundo estado. Cuando éstos se detienen en el lugar definitivo de alimentación, las células alrededor de la cabeza del nematodo sufren una profunda transformación. De 3 a 10 células alrededor de la cabeza de cada nematodo se funden, la pared celular engrosa, el citoplasma se torna denso y se origina el sincitio multinucleado de alta actividad metabólica, el cual es indispensable para la alimentación del nematodo. La formación del sincitio ocasiona una interrupción de los vasos cribosos y leñosos limitando notablemente la funcionalidad de las raíces (7). Debido a esto, las plantas de papa atacadas por el nematodo presentan crecimiento y rendimiento reducidos, la senectud se anticipa y, a veces, en suelos muy infestados, el follaje presenta un ligero amarillamiento. Las reducciones de rendimiento dependen del nivel poblacional del nematodo al momento de la siembra (7).

Ensayos realizados en Europa (21) y Chile (19) han determinado que el límite de tolerancia de la papa a los nemátodos formadores de quistes es de aproximadamente 1.9 huevos/g de suelo. El rendimiento de la papa puede ser reducido entre 20 y 50% cuando el nivel poblacional del nematodo en el suelo alcanza 16 y 32 huevos/g de suelo, respectivamente. El cultivo puede ser destruído completamente cuando la población inicial del nematodo es de 64 huevos/g de suelo. Con la excepción de un ensayo realizado en Italia a 650 msnm, estos datos se refieren a ensayos realizados cerca del nivel del mar.

La magnitud del daño ocasionado por estos patógenos también depende del patotipo. A nivel mundial han sido identificados cinco patotipos de *G. rostochiensis* (Ro1, Ro2, Ro3, Ro4, Ro5) y seis de *G. pallida*: tres en Europa (Pa1, Pa2, Pa3) y tres en la zona andina (P4A, P5A, P6A). La identificación de los patotipos se hace basándose en la tasa de reproducción de las distintas poblaciones en una serie standard de clones de *Solanum spp.* (5). Métodos basados en separación de proteínas, enzimas y pruebas de ADN, hasta ahora, no han dado resultados satisfactorios (15).

De todas formas, mientras la mayoría de los investigadores coinciden en señalar como patotipos a Ro1 y Pa1, existen fuertes dudas en relación a considerar el resto como tales (15). Por lo tanto, muchos especialistas prefieren hablar de poblaciones que se reproducen en uno u otro clon de *Solanum* con genes de resistencia a uno de los nematodos, antes que hablar de verdaderos patotipos.

#### 3.1.8.6 Dinámica poblacional y difusión de los nematodos

En ausencia del cultivo de la papa, en zonas de clima templado, el nivel poblacional disminuye en un 50% cada año, mientras que en países con clima cálido, como Marruecos, puede ocurrir una reducción de casi 100% (41). En países con clima cálido, la superficie del suelo, en el verano, se calienta mucho y los nemátodos que se encuentran en los primeros 5-10 cm mueren naturalmente. Por lo tanto, araduras en esta época del año, reducen sensiblemente el nivel poblacional del parásito.

La época de siembra también afecta la dinámica de los nemátodos. Generalmente, las siembras de primavera son las que favorecen más su tasa de reproducción (población final/población inicial), alcanzando valores de 40-65 % de la población por cada ciclo de cultivo. En climas cálidos, las siembras de verano y las que se realizan hacia finales de otoño, ocasionan una menor tasa de reproducción (entre 8 y 9), reduciéndose, por lo tanto, el efecto negativo sobre el próximo ciclo de cultivo (22).

Cuando la cosecha se realiza al final del ciclo biológico de la papa, todos los nematodos que han penetrado en las raíces alcanzan el estado de quiste, logrando un nivel poblacional muy alto. No ocurre así cuando se cosecha temprano la papa, de esta forma muchos nemátodos se encuentran todavía en los estados juveniles y el nivel poblacional en el suelo permanece bajo. El cultivar de papa juega un papel importante sobre la dinámica de *Globodera* spp. Se conocen cultivares susceptibles a ambas especies y cultivares resistentes o parcialmente resistentes a una sola de ellas, que afectan la tasa de reproducción de los nemátodos.

En presencia de cultivares resistentes los juveniles de segundo estado salen del quiste, penetran en las raíces, pero no se desarrollan. A veces, la reducción poblacional, utilizando un cultivar resistente, puede ser mayor que utilizando un cultivo no huésped o dejando el suelo en barbecho (22).

El uso de cultivares resistentes ejerce una presión selectiva sobre el nematodo, debido al hecho que no existen cultivares resistentes a ambas especies o a todos los patotipos de la misma especie. Por otro lado, ambas especies o diferentes patotipos de ellas, pueden encontrarse en el mismo campo, de manera que el uso de un cultivar resistente puede reducir la incidencia una especie o patotipo, pero favorece el desarrollo de la otra especie o de otro patotipo. Se ha determinado que el uso continuo de un mismo cultivar resistente ocasiona la selección de patotipos que antes no eran importantes. En un campo, el primer foco de infección se manifiesta en una pequeña área circular que luego se agranda hasta afectar toda la superficie.

El nematodo, por acción propia, puede moverse 1-2 m/año; sin embargo, el movimiento pasivo es más rápido. El suelo adherido a los implementos agrícolas, zapatos y patas de los animales, puede contener quistes, favoreciendo la diseminación de los nemátodos dentro de la misma unidad de producción o a otras unidades. Todo sistema de riego que favorezca la escorrentía del agua, así como las inundaciones pueden ser importantes. Sin embargo, el comercio de la papa, y especialmente los tubérculos utilizados como semilla, son la forma más eficaz de diseminar los quistes entre estados, países y continentes. La limpieza de la maquinaria agrícola, zapatos, uso de tubérculos-semilla sanos y medidas cuarentenarias son muy eficaces para evitar la diseminación de los nemátodos.

#### 3.1.8.7 Muestreo

Debido a la imposibilidad económica, física y práctica de hacer cuantificaciones por enumeración total, los trabajos de evaluación de poblaciones en la mayoría de casos se hacen a través de procedimientos de muestreo, con el objeto de estimar el valor de los parámetros que nos interesa conocer de la población.

### 3.1.8.8 Confirmación

Para propósitos cuarentenarios, los quistes pueden ser detectados extrayendo suelo mediante muestreos, para luego ser analizados por métodos de laboratorio. Los más sencillos y comunes de utilizar son los métodos de flotación, como el embudo de Fenwick y el de la botella; este último, puede ser utilizado en forma simple para pequeñas cantidades de suelo, provenientes de material de importación de plantas tales como bulbos, tubérculos, material de propagación enraizado, etc. Existen otros métodos más sofisticados pero muy rápidos como son los métodos de centrifugación: p. ej. método de la centrífuga de Schuilling, de rapidez extraordinaria, cuya capacidad alcanza a procesar 30 muestras por hora (13).

### 3.1.8.9 Tratamiento

Se utiliza el lavado con agua para remover el suelo, con la incorporación de un fungicida en el caso de las papas y bulbos de flores; sin embargo, ocasionalmente puede ocurrir que los quistes queden embebidos en los ojos de las papas, y tales quistes puede ser difícil removerlos con el lavado. Se utiliza también la inmersión de los tubérculos contaminados en solución diluída de hipoclorito de sodio. No se recomienda la fumigación con bromuro de metilo, porque ha sido muy fitotóxico para tubérculos, bulbos, etc, debido a las altas dosis necesarias para eliminar los quistes (43).

### 3.1.8.10 Estudios realizados recientemente sobre nematodos de quiste en Guatemala

En el año de 1,979 García M. realizó un estudio analítico y taxonómico de los nematodos de quiste en Guatemala, para este estudio se muestrearon los departamentos de Quetzaltenango, Sololá, Chimaltenango y Totonicapán. El estudio fue apoyado por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) y los muestreos fueron realizados en las áreas de ingerencia del mismo. Los resultados de García demuestran la presencia de el género *Heterodera* y *Globodera*, este último con una incidencia de 88.29 % del total de muestras, sin embargo se negó la presencia del nematodo dorado en este estudio (16).

Para el año 2,002 Salguero de León realizó un estudio de determinación de nematodos de quiste en el municipio de Patzicía, Chimaltenango. Las aldeas tomadas en cuenta para este estudio fueron la aldea El Sitán, la aldea El Llano, la aldea el Camán, El Valle de Patzicía, la aldea El Xuluc y la aldea El Pahuit. Los géneros encontrados son *Punctodera* con una incidencia de del 31.5 % del total de sitios muestrados, *Heterodera* con una incidencia del 28.6 %, *Globodera* con una incidencia del 4 % y *Afenestrata* con una incidencia del 3 %. Descartándose en este estudio la presencia del nematodo dorado de la papa (39).

El estudio más reciente llevado a cabo en Guatemala fue llevado a cabo por Blanco Pineda, quién realizó un estudio de determinación de nematodos de quiste en Palencia municipio de Guatemala. Los sitios tomados en cuenta para este estudio fueron las aldeas, Concepción, San Sur, San Guayaba, Primera Joya, Plan Grande y Pie del Cerro.

Los géneros determinados son *Globodera* con una incidencia del 12.5 % , *Heterodera* con una incidencia de 9.64 %, *Cactodera* y *Punctodera* con una incidencia de 6.02 %. El estudio concluye con la presencia negativa del nematodo dorado de la papa (3).

#### 3.1.8.11 Aspectos legales de imposición y levantamiento de cuarentenas vegetales en Guatemala

Para Guatemala la Unidad de Normas y Regulaciones del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), vela por el buen manejo de los recursos y producción agrícola y pecuaria en el especto fitozoosanitario; para ello se creó la Ley de Sanidad Vegetal y Animal, Decreto No. 36-98 del Congreso de la República y de su Reglamento, Acuerdo Gubernativo No. 745-99.

Con la vigencia de ambos instrumentos legales se particularizan los compromisos adquiridos por Guatemala ante la Organización Mundial del Comercio, específicamente lo concerniente al Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias, acordes con las directrices emanadas de la Oficina Internacional de Epizootias -OIE-, Convención Internacional de Protección Fitosanitaria -IPPC- y Codex Alimentarius (30).

La Ley presenta innovaciones de carácter técnico y administrativo, tal es el caso del Análisis de Evaluación de Riesgos de Plagas y Enfermedades, Delegación de Servicios en Sanidad Vegetal y Regencia Profesional. El Reglamento presenta y refleja la integración funcional de aspectos vinculados entre sí, como lo son la vigilancia Epidemiológica Fitozoosanitaria, Cuarentena Vegetal y Animal y el Registro y Control de Insumos Agrícolas y Animales, entre otros (30).

En ambos documentos se dan a conocer artículos relacionados con la imposición de cuarentenas, esto como resultado de estudios profundos de monitoreo, incidencia, diagnóstico y evaluaciones a nivel de laboratorio de patogenicidad que arrojen evidencias científicas confiables de la presencia de plagas exóticas que perjudicarían a las zonas agrícolas y pecuarias del país (Artículos 3, 6, 10, 17 y 53 del reglamento) (29). Las medidas de protección fitosanitaria comprenden acciones técnicas, administrativas y legales que se ejecutan con la finalidad de erradicar, evitar la introducción, establecimiento, diseminación y dispersión de plagas o enfermedades de los vegetales.

La información técnica es indispensable para establecer y mantener actualizado el inventario de plagas y enfermedades, su incidencia, prevalencia, dinámica poblacional y distribución geográfica; así como los indicadores y parámetros que fundamenten las medidas técnicas para la prevención y control de daños en la producción agropecuaria del país; y evitar el establecimiento y dispersión de plagas y enfermedades, por medio de la implementación de puestos de cuarentena interna, inspección, muestreo y diagnóstico en campo y laboratorio (30).

El período de cuarentena de vegetales, animales, sus productos y subproductos es determinado por el MAGA, **con bases técnicas, científicas y tomando en cuenta los períodos de incubación, infecciosidad, confiabilidad de las pruebas de laboratorio** y estado fitosanitario del país del cual procede (30).

## 3.2 Marco Referencial

### 3.2.1 Ubicación geográfica

De acuerdo con el Instituto Geográfico Nacional, el municipio de Jalapa pertenece al departamento de Jalapa respectivamente. Posee una extensión territorial de 544 Kilómetros cuadrados. Su cabecera municipal de igual nombre se encuentra ubicada a 1,362 metros sobre el nivel del mar, localizado en las siguientes coordenadas geográficas (25).

Latitud Norte: 14° 37' 58"

Longitud Oeste: 89° 59' 20"

### 3.2.2 Colindancias

Al Norte: Con El Progreso.

Al Este: Con San Pedro Pinula y San Manuel Chaparrón.

Al Oeste: Con el departamento de Guatemala.

Al Sur: Con San Carlos Alzatate, Monjas y Mataquescuintla.

### 3.2.3 Zona de vida

La zona de vida corresponde al Bosque Húmedo Subtropical (Templado), representada por el símbolo bh-S (t). Esta zona de vida es muy extensa y posee muchas asociaciones diferentes. Abarca desde Joyabaj, Quiché en el Noroeste de Guatemala pasando por San Raymundo, hasta llegar a la meseta central; luego sigue para el Sureste por Casillas, Nueva Santa Rosa y Santa Rosa de Lima en el departamento de Santa Rosa. Abarca la mitad del departamento de Jutiapa. Se encuentra esta Zona en Jalapa y en Chiquimula, anguiatú y Agua Caliente frontera con El Salvador y El Florido frontera con Honduras. La superficie total es de 12,320 Kilómetros cuadrados, lo que representa un 11.32 % de la superficie del país (12).

### 3.2.4 Clima

El período en que las lluvias son más frecuentes corresponde a los meses de mayo a noviembre, variando en intensidad según la situación orográfica que ocupan las áreas de la zona.

La precipitación oscila entre 1,000 a 1,349 mm como promedio total anual. La biotemperatura media anual para esta zona, varía entre 20 y 26 °C. La relación de evapotranspiración potencial es alrededor de 1 % (12).

### 3.2.5 Relieve

Los terrenos correspondientes a esta área son de relieve ondulado a accidentado y escarpado (12).

### 3.2.6 Suelos

Según Simmons et al (42), los suelos que predominan en el área donde se realizó el estudio pertenecen al grupo I, suelos desarrollados sobre materiales volcánicos. La mayor parte del material sobre el cual se han desarrollado fue depositado en la época en que gran parte de de Guatemala central fue cubierta por ceniza volcánica y toba.

Los suelos del municipio de Jalapa se encuentran clasificados en el Grupo I, a su vez en el Sub-grupo – C, estos son suelos poco profundos sobre materiales de color claro. Ocupan relieves escarpados y los afloramientos de la roca madre son comunes. No son recomendables para los cultivo limpios, constituyen el 34.5 % del área del departamento. La serie a la que corresponden es a la serie Jalapa, cuyo material madre es la ceniza volcánica cementada, el suelo superficial es franco arenoso fino, de color gris oscuro con una consistencia suelta a friable y de un espesor de 15-20 cm de profundidad y cuyo drenaje interno es lento.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 General

Descartar la presencia del nematodo dorado *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens, en el municipio de Jalapa, Jalapa.

### 4.2 Específicos

4.2.1 Determinar la presencia del nematodo dorado de la papa *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens, en el municipio de Jalapa, Jalapa.

4.2.2 Realizar un bioensayo de patogenicidad de los nematodos del género *Globodera* encontrados en el área de estudio.

4.2.3 Determinar los diferentes géneros de la sub-familia *Heteroderinae*, presentes en el municipio de Jalapa, Jalapa.

## 5. HIPOTESIS

- 5.1 No existe la presencia del nematodo dorado de la papa *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens, en la zona productora de papa del municipio de Jalapa.
  
- 5.2 Existen otros géneros pertenecientes a la sub-familia *Heteroderinidae*, en la zona productora de papa del municipio de Jalapa.

## 6. METODOLOGIA

### 6.1 Definición del Marco de Muestreo

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) (17), a través del Sistema de Vigilancia Fitosanitaria, la Unidad de Operaciones Rurales y la Coordinadora Departamental, señalan que las zonas más importantes de producción de papa del municipio de Jalapa son:

El Aguacate, La Soledad , La Esperanza, Buena Vista, El bosque, Las Guacamayas, Los Hernández, Miramundo y El Sauzal entre otros (Ver Figuras 17”A”-23 “A”).

Estás aldeas en conjunto reportan un área útil de siembra de 200 ha. con un rendimiento estimado de 150 a 200 quintales de papa por hectárea. Se realizaron entrevistas con autoridades y actores sociales presentes en el municipio, para verificar el área exacta de producción de papa que se encuentra en la región, y así proceder posteriormente a la extracción de las muestras de suelo (17).

### 6.2 Planificación de Muestreo

El muestreo de nematodos en un área de siembra, puede darse en varias circunstancias, puede ser en un campo sin cultivo o en un campo con cultivo, en el cual pueden o no existir síntomas definidos. Para obtener el número de muestras se utilizó un muestreo simple aleatorio. El número de muestras define la precisión del muestreo. Para obtener el tamaño de las muestras (n) se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N Z^2 pq}{Nd^2 + Z^2 pq}$$

Dónde: n= Tamaño de muestra; N = Area; Z<sup>2</sup>= Confiabilidad (95 %); pq = varianza máxima; d = Precisión; Z= Valor de tabla para coeficiente de confiabilidad.

$$n = \frac{200 (1.96)^2(0.5*0.5)}{200 (0.072)^2 + (0.5*0.5)(1.96)^2}$$

<b>n = 96 hectáreas.</b>
--------------------------

En el presente estudio se tomó como base las 200 has. reportadas para el año 2001 en el área de Jalapa. El (n) nos indica el tamaño de la muestra que son 96 ha en total, esto utilizando una precisión (d) de 0.072, este dato nos indica que tan representativo y confiable fue el muestreo en el área indicada utilizando 96 hectáreas del total que son 200.

Es importante tomar en cuenta que el criterio de precisión fue tomado a priori por el investigador y el valor de confiabilidad utilizado para este estudio fue de 95 %. El valor de tabla utilizado para el coeficiente de confiabilidad (Z) es de 1.96. Lo anterior definió el número de muestras a tomar en el campo para obtener los quistes de nematodos de la subfamilia *Heteroderinae*. La ecuación utilizada para obtener el número de muestras es la de “proporción de un tamaño de muestra de una población finita” dando como resultado un total de 96 muestras o puntos de muestreo (2).

### 6.2.1 Selección de parcelas a muestrearse

Se tomó como base el hectareaje reportado por el MAGA, al llegar a campo definitivo se confirmaron las área sembradas con papa por diferentes agricultores en las diferentes aldeas. Y así se procedió a seleccionar las áreas a muestrear.

## 6.3 Fase de Campo

### 6.3.1 Toma de muestra

Para la obtención del suelo en los puntos de sub-muestreo se utilizó un barreno de 0.015 metros de diámetro y se tomó lo que se obtuvo de los primeros 0.20 mts de profundidad.

Luego se tomó una porción equivalente de 1/10 de Kg, y se colocó esto en una cubeta o bolsa plástica. El suelo obtenido de las sub-muestras se mezcló para obtener una muestra completa de 2 Kg.

En el campo de muestreo se realizaron caminamientos en zig-zag tratando de cubrir la mayor parte del terreno. Según Zuckerman (45), de 20 a 100 puntos de muestreo de suelo pueden ser tomados en campos de cultivo de más de 2 hectáreas, para este caso se tomaron 20 sub-muestras por ha.

Cada hectárea muestreada, fue georeferenciada por medio de un GPS, para ubicar la muestra y así poder regresar a los puntos de muestreo si el estudio lo requería, ya sea para obtener una nueva muestra o por que se detectaron quistes del género *Globodera* y se necesitó extraer más muestras de suelos para la realización de las pruebas del bio-ensayo (Fig. 15 A y B).

### 6.3.2 Manejo de las muestras

Las muestras se colocaron en bolsas plásticas y fueron identificadas con los siguientes datos:

Fecha de Muestreo

Lugar de Colecta

Número de Muestra

Coordenadas UTM

Las muestras fueron transportadas en bolsas plásticas hacia el lugar donde se procedió a secar las mismas. Cada muestra fue colocada sobre papel periódico en un lugar cubierto y fue secada a temperatura ambiente por espacio de 8 a 10 días. Al estar completamente secas la muestras se re-introdujeron a su respectiva bolsa para su traslado al laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Agronomía.

## 6.4 Fase de Laboratorio

### 6.4.1 Extracción y aislamiento de nematodos

Para la realización de este estudio se utilizó la técnica de flotación de quistes, por el método de FENWICK modificado con flotación en acetona, el cuál es un método simple y rápido (14).

### 6.4.2 Procedimiento para la extracción de quistes

- a) Se introdujó un embudo con su parte tubular lo más larga posible, dentro de 1 un recipiente de 9 litros de capacidad con adaptación de un drenaje de fluidos, para formar el sistema embudo matraz (E.M.).
- b) Se colocaron 300 cc de la muestra dentro de un tamiz de 20 mesh y se acopló al sistema E.M.
- c) Se hizo pasar una corriente de agua a presión para el arrastre del suelo hasta el fondo del recipiente. En el fondo se acumuló el suelo y por la parte del drenaje salió por su menor densidad materia orgánica del suelo y los quistes, que se recolectaron dentro de un tamiz de 65 mesh.
- d) Haciendo uso de una pizeta se trasladó la materia orgánica y los quistes a un papel filtro (de percolador) debidamente identificado, dentro de lo colectado se encontraron partículas de suelo, arcillas, materia orgánica, insectos y quistes.
- e) Se secó lo filtrado a temperatura ambiente, y todo el material que estaba dentro del papel filtro se virtió en un earlenmeyer de boca angosta.
- f) Se agregó acetona (grado industrial), hasta la mitad del earlenmeyer, se agitó fuertemente, se terminó de llenar con acetona hasta la orilla de la boca del recipiente.

- g) Se dejó reposar por un tiempo de 30 segundos.
- h) Los quistes flotaron en la orilla del earlenmeyer y se colectaron con un pincel para luego ser colocados dentro de una caja de petri con agua.
- i) Se observaron con estereoscopio y se separaron los quistes de la materia orgánica que se encontraban en la muestra.
- j) Luego de separar los quistes estos se colocaron en frascos pequeños para su preservación con una solución de FS 4 : 1 e inmediatamente se llevó dicha solución con quistes al punto de ebullición usando una estufa eléctrica .

### 6.4.3 Determinación

Para la determinación de los quistes colectados se tomaron tres aspectos de éstos:

- A. Forma del Quiste, dependiendo si era esférico, alargado con apariencia citriforme o piriforme.
- B. Presencia y forma del cono vulval , si este es prominente o está ausente.
- C. Constante de Granek's

Los quistes se observaron y compararon con los gráficos que se presentan en las claves de Tylenchida de Siddiqi et al. 2 ed., además las claves morfométricas y pictográficas de Rowe, estas claves se presentan a continuación:

La clave utilizada para determinar las subfamilias de la familia *Heteroderidae* se describe a continuación (48):

1. Vulva ecuatorial, el desarrollo del macho no es por metamorfosis..... **Meloidoderinae**  
     Vulva terminal o subterminal; el desarrollo del macho es por metamorfosis..... 2
2. La hembra se transforma en quiste endurecido..... **Heteroderinae**  
     La hembra no se transforma en quiste endurecido..... **Ataloderinae**

La clave utilizada para determinar los géneros de la sub-familia *Heteroderinae* se describe a continuación (48):

1. Fenestra vulval ausente ..... **Afenestrata**  
     Fenestra vulval presente ..... 2
2. Cuerpo con cono terminal ..... 3  
     Cuerpo sin cono terminal ..... 4
3. Superficie cuticular con arrugas paralelas; dentículas vulvales presentes;  
     circumfenestrado ..... **Cactodera**  
     Superficie con arrugas en forma de encaje o zig-zag; dentículas vulvales  
     generalmente ausentes, raramente circumfenestrado.....**Heterodera**
4. Región anal con fenestra ..... **Punctodera**  
     Región anal sin fenestra ..... 5
5. Hembras maduras y quistes esferoides; tubérculos perineales presentes,  
     bullae usualmente ausente ..... **Globodera**  
     Hembras maduras y quistes oval-elongados, tubérculos perineales  
     ausentes, bullae presente ..... **Dolichodera**

Claves utilizadas para determinación de nematodos de quiste, tomado de Rowe et al. (38):

1. a. Hembras y quistes sin cono vulvar; quiste esférico, subesférico, en forma de pera o elongado ..... 2
- b. Hembras y quistes con cono vulvar: en forma de limón, algunas veces casi esférico ..... 3
2. a. Vulva con circumfenestra, ano sin fenestra ..... **Globodera**
- b. Vulva con circumfenestra, ano con circumfenestra casi del mismo tamaño que la vulvar ..... **Punctodera**
3. a. Fenestración de tipo Circumfenestra ..... **Cactodera**
- b. Fenestración de tipo ambifenestra o bifenestra ..... 4
4. a. Abertura de la vulva corta, <25 µm de largo..... grupo “avenae”, del grupo 3 de *Heterodera*
- b. Abertura de la vulva larga, >30 µm de largo ..... 5
5. a. Bulla presente, subpuente bien desarrollado.....grupo “schachtii” del grupo 4 de *Heterodera*
- b. Bulla generalmente ausente, subpuente generalmente ausente, si lo esta es alargado ..... grupo “goettingiana”, del grupo 5 de *Heterodera*

Luego de realizar la determinación se tomaron los aspectos de forma del quiste y forma del cono vulval. La relación o constante de Granek’s se calculó utilizando la preparación de montajes de fenestralias. Para calcular la constante de Granek’s se utilizó la siguiente ecuación:

Constante de Granek’s:  $\frac{\text{Distancia Ano- fenestra vulval } (\mu\text{m})}{\text{Diámetro de fenestra vulval } (\mu\text{m})}$

Diámetro de fenestra vulval (µm)

#### 6.4.3.1 Preparación de montajes de fenestralias de quistes

- a) Sobre un portaobjetos se vertió una gota de agua y se colocó el quiste seleccionado para realizar el montaje.
- b) Con una hoja de afeitar se realizó un corte ecuatorial del quiste, conservando la mitad posterior del cuerpo.
- c) Se procedió luego a limpiar los huevecillos con ayuda de agujas y se colocó el corte en una pequeña gota de lactefenol claro.
- d) Se realizaron otros dos cortes a manera de eliminar el exceso de tejido.
- e) Se transfirió el corte a una gota de agua oxigenada por 2 o 3 minutos.
- f) Luego a soluciones de alcohol al 70 y 96 % de uno a dos minutos en cada solución.
- g) Para su preservación algunos montajes se fijaron con gelatina glicerada.
- h) Se sellaron y Etiquetaron adecuadamente.

Con la ayuda del micrómetro se tomaron los datos de diámetro de fenestra y de la distancia ano-fenestra, para ubicar la relación Granek's y se compararon con los datos para las especies, mencionados en el (cuadro 1).

#### 6.4.4 Bioensayo

Al encontrar formas de quistes y de cono vulval similares a los que el género *Globodera* posee se procedió a la realización de un bio-ensayo de patogenicidad, procediendo de la siguiente manera:

- a) Se ubicó el origen de las muestras por medio de las coordenadas de GPS.
- b) Se realizó un muestreo de mayor precisión en cada uno de los sitios que marcaron una presencia positiva del género.
- c) Se realizaron extracciones de quistes de las muestras analizadas donde se presentó el género *Globodera*, a modo de obtener 25-30 quistes, los cuales, se colocaron dentro de bolsitas de papel filtro, similares a los de envoltorios de té.
- d) Se esterilizó suelo con vapor a presión en el autoclave a 120 °C , el suelo permaneció en recipientes metálicos dentro de el autoclave por espacio de 1 hora.
- e) Se prepararon recipientes plásticos transparentes de 0.16 m de diámetro por 0.20 m de alto, que se cubrieron externamente con plástico negro.
- f) Se procedió a llenar las macetas plásticas con el suelo anteriormente esterilizado y se prepararon tres macetas por sitio positivo con el género *Globodera*.
- g) Se colocó en la maceta, semilla de papa Loman que se reporta como altamente susceptible a el género *Globodera*.
- h) Se colocaron las bolsas de papel filtro con los quistes, justo debajo de la semilla de papa germinada.
- i) Se procedió a observar si los nematodos luego de 30-65 días habían formado sincitios de alimentación sobre las raíces de papa.
- j) Luego de los 65 días se extrajo cada una de las plantas para revisar las raíces y verificar la posible presencia del nematodo en las raices de la planta de papa. Se examinó la raíz con ayuda de un estereoscopio y se tomaron fotografías de todo el procedimiento.
- k) Se procedió luego a realizar una nueva extracción de suelo para reconfirmar la presencia del género determinado inicialmente.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Densidades Poblacionales y Determinación de los Distintos Géneros de Nematodos de Quiste Encontrados en el Municipio de Jalapa

Las 96 muestras de suelo obtenidas en campo fueron trabajadas y analizadas en el laboratorio de Fitopatología de la FAUSAC en el período que comprende de enero del 2,003 a marzo del mismo año y la fase de bio-ensayo se realizó de marzo del 2,004 a junio del mismo año. La determinación de los géneros se realizó utilizando las claves taxonómicas de Siddiqi et al. 2 ed., además las claves de A. Stone y J. Rowe ( pag. 40), las cuales se basan en características morfométricas y pictográficas de los nematodos en estudio. Luego de comparar las características de los nematodos con la ayuda de las claves se determinó que los géneros presentes en el municipio de Jalapa son:

- ***Globodera***
  
- ***Cactodera***
  
- ***Punctodera***

Las densidades y las características morfológicas y anatómicas que presentaron los diferentes géneros se presentan a continuación.

#### 7.1.1 Género *Globodera*

##### 7.1.1.1 Densidades

Este género se encontró en un total de 6 sitios, para el género *Globodera* la densidad poblacional más alta fue de 25 quistes por 300 cc de suelo.

Encontrándose esta en la aldea Los Hernández en el punto de muestreo # 40 y el punto # 46 presenta una densidad de 9 quistes por 300 cc de suelo para la misma aldea. Para la aldea La Soledad se obtuvo una densidad de 20 quistes por 300 cc de suelo en el punto de muestreo # 5. Para la aldea Las Guacamayas este género presentó una densidad de 12 quistes por 300 cc de suelo en el punto de muestreo # 32. En la aldea Miramundo presentó una densidad de 8 quistes por 300 cc de suelo para el punto de muestreo # 51. El último punto en presentar una densidad para este género se encontró en la aldea El Sauzal y fue de 15 quistes por 300 cc de suelo en el punto de muestreo # 95 respectivamente.

#### 7.1.1.2 Características

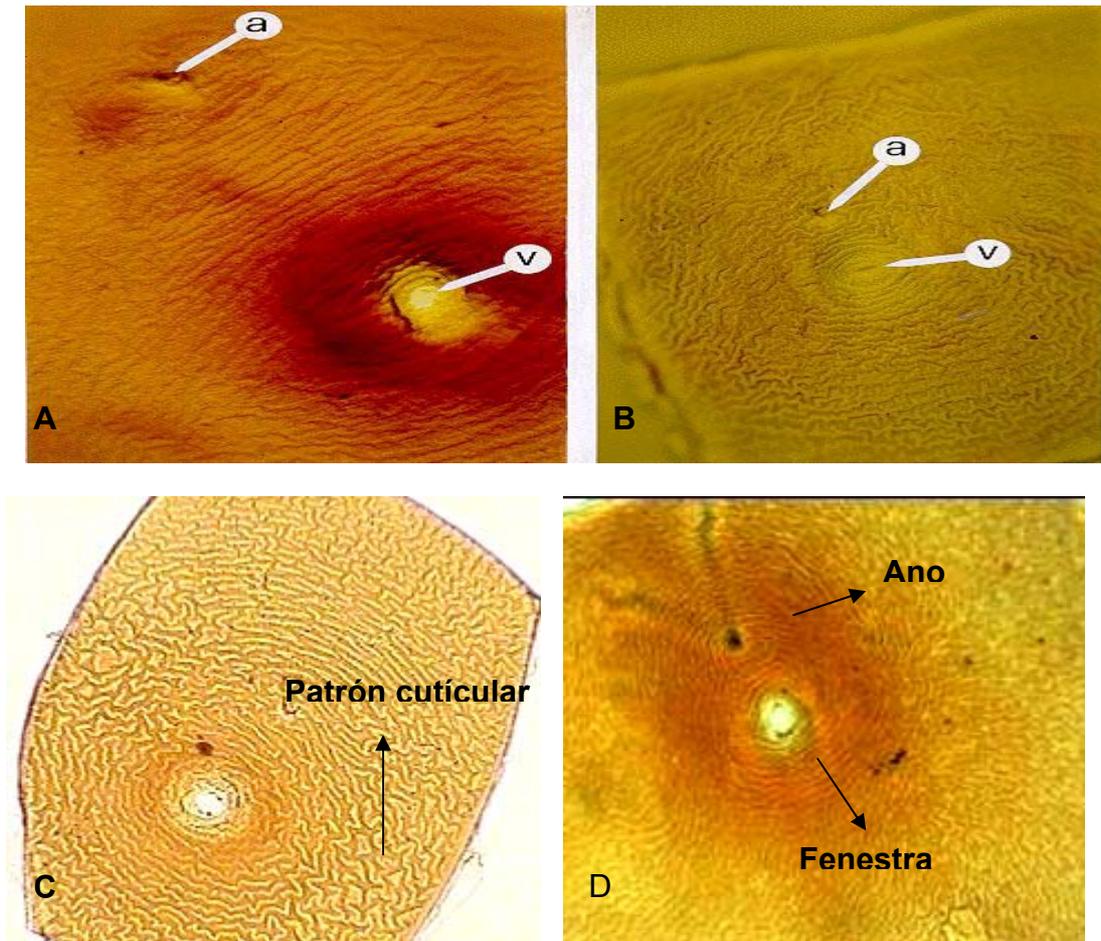
Las características morfológicas presentadas por los nematodos de quiste de este género fueron las siguientes: Poseen un cuerpo globoso y esférico, con cuello corto y sin un cono terminal (Figura 5).



**Figura 5** Quistes pertenecientes al género *Globodera*.

Fuente: El autor.

La cutícula es delgada y con un patrón cuticular en forma de red o de encaje. Posen una vulva terminal, la fenestra es del tipo circumfenestra, con pequeños tubérculos cerca de la vulva. Los quistes de este género no presentan una fenestra anal. La vulva y el ano se encuentran localizados en el área conocida como “vulval basin” o una base vulval, además presenta una proyección en forma de triángulo en la parte anal. La coloración de los quistes de este género es marrón clara (38) (Figura 6).



**Figura 6** Cortes perineales de fenestralia de quistes del Género A) *Globodera* *rostochiensis*, B) *G. pallida*, C y D) Género *Globodera*.

Fuente: A y B) [www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html](http://www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html) , C y D) El autor.

Comparando las fotografías se puede mencionar que la diferencia en el patrón cuticular entre *G. rostochiensis* (Woll) Behrens y los nematodos encontrados en Jalapa incide en lo que es la profundidad de la estriación; así como en el número de estrías entre el ano y la vulva. Como se muestra en la figura 9, el número de estrías presentado entre el ano y la fenestra es de 11, mientras que Stone (44), menciona que *G. rostochiensis* (Woll) posee un número de estrías mayor de 20.

Sin embargo al comparar las fotografías de los cortes presentes en Jalapa con las fotografías de los cortes de *G. pallida* (Stone) Behrens se puede mencionar que existe una similitud en el tipo de estriado y en el número de estrías cuticulares, más no así en la coloración del quiste. Se puede notar que la apertura vulval está rodeada por una fenestra transparente.

La ubicación de los puntos de muestreo con presencia positiva del género *Globodera* y las respectivas densidades de los nematodos se muestran en el cuadro 2.

**Cuadro 2** Ubicación de las localidades con presencia positiva del género *Globodera* y sus respectivas densidades.

No.	Localidad	x	y	<i>Globodera</i> # quistes x 300 cc de suelo
		Latitud	Longitud	
5	La Soledad	14.54261	90.12863	20
32	Las Guacamayas	14.58173	90.10037	12
40	Los Hernández	14.55843	90.11228	25
46	Los Hernández	14.56249	90.11200	9
51	Miramundo	14.55239	90.10727	8
95	El Sauzal	14.55431	90.12363	15

El cuadro indica los lugares dónde existe la presencia de este nematodo de quiste, son seis puntos específicos y cada uno con una densidad de nematodos diferente, el punto que presenta la densidad más alta es el que se encuentra situado en los hernández con un promedio de 25 quistes por 300 cc de suelo.

Se realizaron cortes perineales de los quistes, alrededor de 20 quistes fueron estudiados y analizados tomándose como indicadores la distancia ano-fenestra y el diámetro que presenta la vulva.

Luego de realizadas las mediciones se compararon las mismas con las que presentan Rowe et. al. (38) y las medidas publicadas por Shutler, K. (41). Los resultados obtenidos luego de este análisis se muestran el cuadro 3.

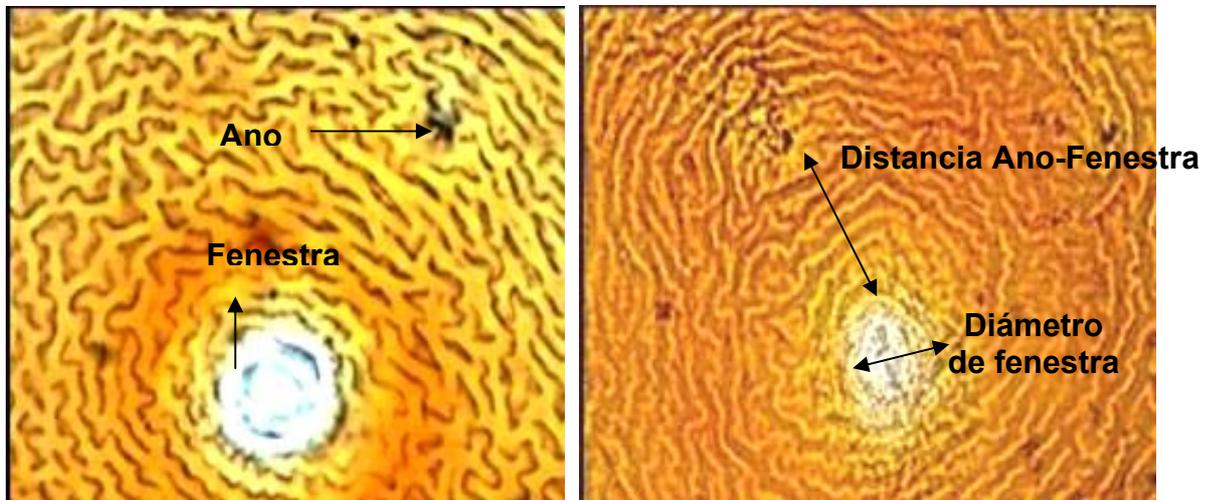
**Cuadro 3** Datos biométricos de quistes pertenecientes al género *Globodera* presentes en Jalapa y su comparación con datos biométricos de varias especies del género.

Género / sp	Distancia Ano-Fenestra	Diámetro Fenestra	# de Estrías Cuticulares	Relación de Granek's
<i>Globodera</i>	32 - 66 (49 $\mu$ m)	24 - 30 (27.8 $\mu$ m)	11	1.33 – 2.19 (1.76)
<i>G. rostochiensis</i>	50 - 77 (66.5 $\mu$ m)	Promedio 18.8	21.6	1.3 – 9.5 ( 3.6) > 3
<i>G. pallida</i>	35 – 65 (49.9 $\mu$ m)	Promedio 24.5	12.5	1.2 – 3.5 (2.1) < 3
<i>G. tabacum</i>	35	15-32	10-14	1 – 4.2 < 2.8
<i>G. achillae</i>	22 -34 (17 $\mu$ m)	12 -18 (16 $\mu$ m)	4 -11	1.3-1.9 (1.6)

En el cuadro anterior se pueden ver las relaciones de Granek para las 4 especies más importantes del género *Globodera* (Woll) Behrens, el género *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens presenta una relación promedio de 3.6 y el género *Globodera pallida* (Stone) Behrens presenta una relación promedio de 2.1, *Globodera tabacum* y *Globodera achillae* presentan una relación de Granek promedio de 2.8 y 1.6 respectivamente.

Los nematodos del género *Globodera* presentes en Jalapa muestran una relación de Granek promedio de 1.76. Con esto se descarta la posibilidad de que los géneros presentes en Jalapa pertenezcan a la especie *Globodera rostochiensis* (Woll) Behrens. Sin embargo, cabe mencionar que la relación de Granek para estos nematodos se asemeja a la de las especies de *G. Pallida* (Stone) Behrens, *G. Tabacum* y *G. achillae*. Esto hace notar que se necesita realizar un análisis más detallado y específico para lograr determinar la especie a la que pertenecen los nematodos de quiste presentes en los campos de cultivo de papa en el municipio de Jalapa.

Gracias a la ayuda de un microscopio electrónico se pudieron tomar las medidas de los cortes y así presentar los anteriores resultados (Figura 7).



**Figura 7** Cortes perineales de fenestralia de quistes pertenecientes al género *Globodera*. Aumento 100 X. Fuente: El autor.

El patrón cuticular de estos nematodos es muy característico ya que presenta una forma de encaje. Se puede notar la abertura de la vulva y el número de estrías cuticulares entre el ano y la vulva (Fig. 9) Este género de nematodos se caracteriza por ser parásito de solanáceas y de las plantas compuestas, se puede afirmar que son casi cosmopolitas.

## 7.1.2 Género *Cactodera*

### 7.1.2.1 Densidades

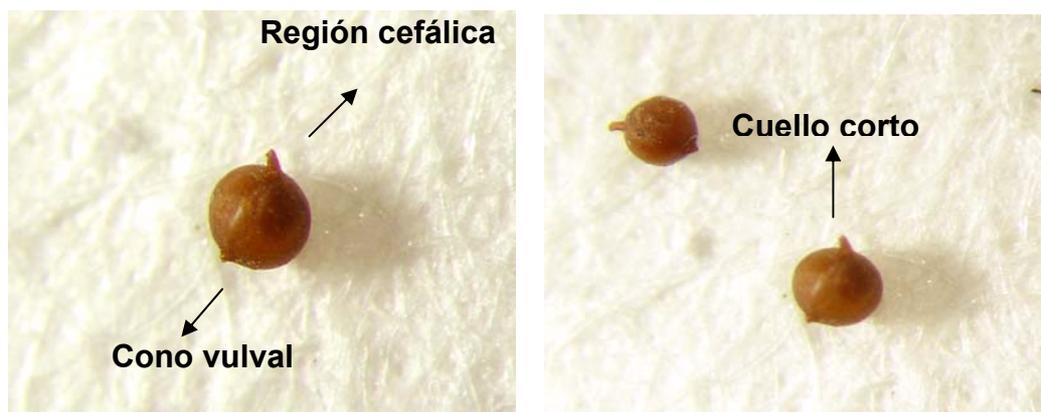
Este género se encontró en un total de 27 muestras. La densidad poblacional más alta se presentó en la aldea El Sauzal con un total de 27 quistes por 300 cc de suelo, esto en el punto de muestreo # 91. Se dieron otras densidades poblacionales de 25, 22, 22 quistes por 300 cc de suelo en los puntos # 83, 80, 84 de esta misma aldea.

En la aldea Miramundo la densidad más alta la presentó el sitio de muestreo # 50 con 23 quistes por 300 cc de suelo y el punto # 65 que presenta una densidad de 22 quistes por 300 cc de suelo respectivamente.

En la aldea El Bosque se encuentra el punto de muestreo # 23 con una densidad de 26 quistes por 300 cc de suelo. Los puntos de muestreo # 21, 22, 24 presentan unas densidades de 17, 14, 13 quistes por 300 cc de suelo respectivamente. Este género se presentó en las aldeas El Aguacate, La Soledad, Las Guacamayas y Los Hernández pero con unas densidades menores (Ver apéndice 5). El género *Cactodera* es el género que presenta una mayor incidencia en el municipio de Jalapa.

#### 7.1.2.2 Características

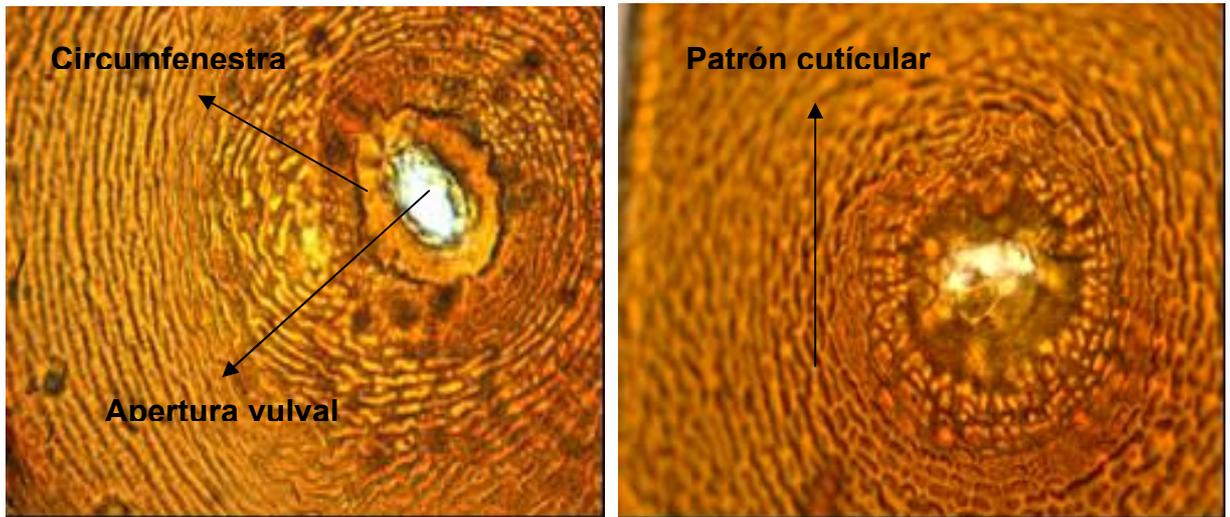
Las características externas que poseen este tipo de nematodos son: un cuerpo globoso y citriforme, además posee una proyección cefálica corta (cuello corto) y una coloración externa café claro. En la parte inferior se encuentra el cono vulvar (Figura 8).



**Figura 8** Quistes pertenecientes al Género *Cactodera*.

Fuente: El autor.

Posee una cutícula gruesa con estrías irregulares interrumpidas. Tiene una vulva terminal fenestrada, y la fenestra es de tipo circumfenestra; tomando en cuenta también que la abertura vulvar mide más de  $>20 \mu\text{m}$ , los quistes fueron medidos y tienen una abertura vulvar de  $26 \mu\text{m}$ ; el ano se encuentra distante de la vulva y este no presenta una fenestración (38) (Figura 9).



**Figura 9** Cortes perineales del género *Cactodera*.

Fuente: El autor.

Este género tiene un supuesto origen en México y está ampliamente distribuido en Centro América, la parte sur de Norteamérica y las zonas áridas del norte y la parte central de Sudamérica. *Cactodera cacti* y *C. estónica* atacan plantas ornamentales e invernaderos en muchos países europeos. El ciclo de vida de *Cactodera cacti* es completado en 29-34 días a una temperatura promedio de 18-26 °C (48).

### 7.1.3 Género *Punctodera*

#### 7.3.1.1 Densidades

Este género reportó una densidad de 12 quistes por 300 cc de suelo en la aldea Miramundo, en el sitio de muestreo # 49. Este sitio fue el único que reportó la presencia de este género de las 96 muestras que formaron parte de este estudio. Este género fue el que presentó la menor incidencia al presentarse en una sola localidad.

### 7.3.1.2 Características

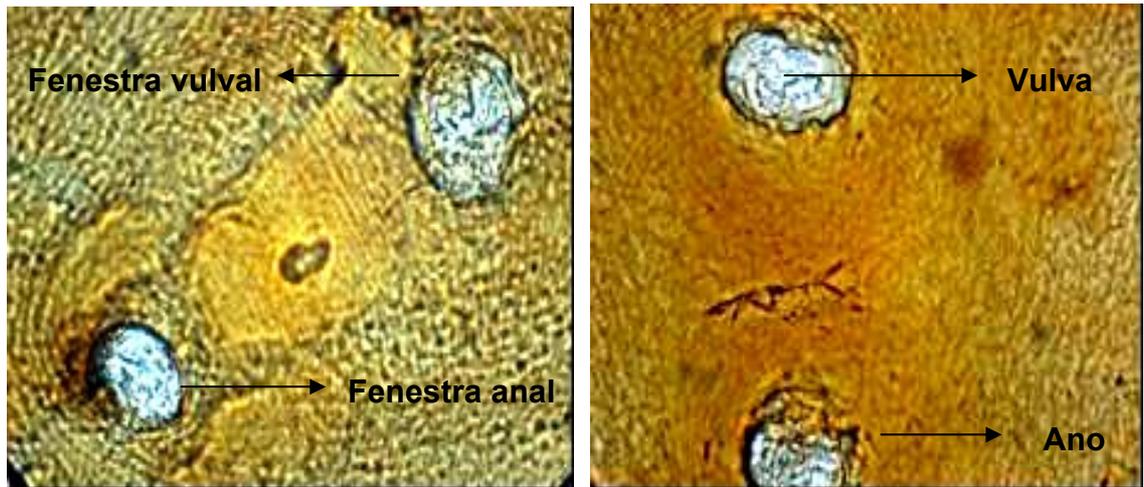
Los nematodos de quiste pertenecientes a este género presentaron las siguientes características: Poseen un cuerpo globoso con forma esférica o en forma de pera, poseen además un cuello corto y en la parte inferior del quiste no presentan un cono vulvar. Los quistes tienen un color café oscuro (38).

Además los cortes de fenestralia de quistes demostraron que estos nematodos presentan una cutícula gruesa con un patrón reticulado y una subcutícula con puntuaciones. Poseen además una vulva terminal, con una circumfenestra vulval y una circumfenestra anal casi de igual tamaño (Fig. 10-11).



**Figura 10** Quiste perteneciente al género *Punctodera*.

Fuente: El autor.



**Figura 11** Cortes de fenestralia de quistes pertenecientes al género *Punctodera*.

Aumento 100 X.

Fuente: El autor.

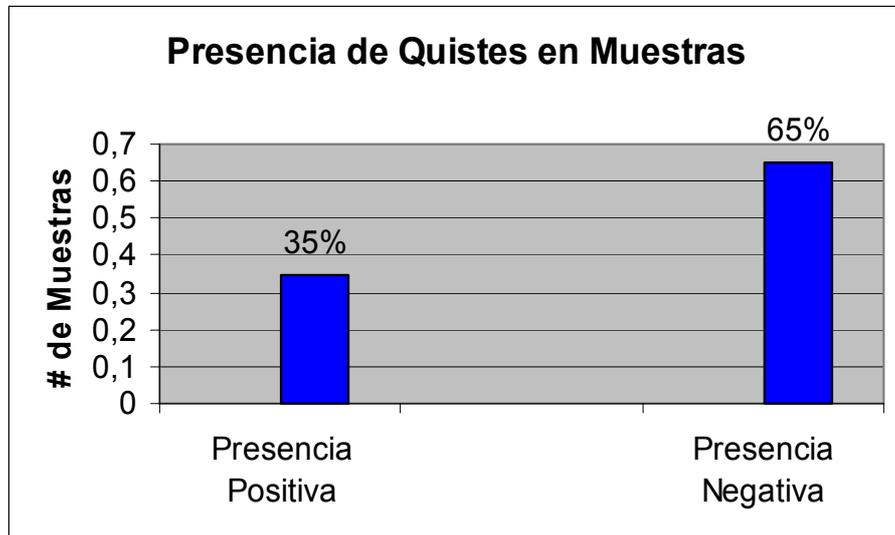
Los nematodos pertenecientes a este género tienen como característica principal la doble fenestración. Una fenestra anal y una fenestra vulval. Así como el patrón cuticular reticulado y la ausencia de un cono vulvar pronunciado. La medida fenestral vulval es de 67.4  $\mu\text{m}$  y la fenestra anal posee un diámetro de 52.5  $\mu\text{m}$ .

El género *Punctodera* es parásito de un gran espectro de gramíneas, como lo son el maíz *Zea mays* L. y el pasto de invierno *Poa annua* L. *Punctodera punctata* es uno de los principales atacantes de la avena y es uno de los parásitos más importantes del maíz en México, algunas veces causando el 100 % de pérdidas en el cultivo. Se cree que el origen de este género se dió en Norte América (48).

## **7.2 Presencia e Interacción de los Distintos Géneros Encontrados en Jalapa**

### **7.2.1 Presencia de nematodos de quiste en Jalapa**

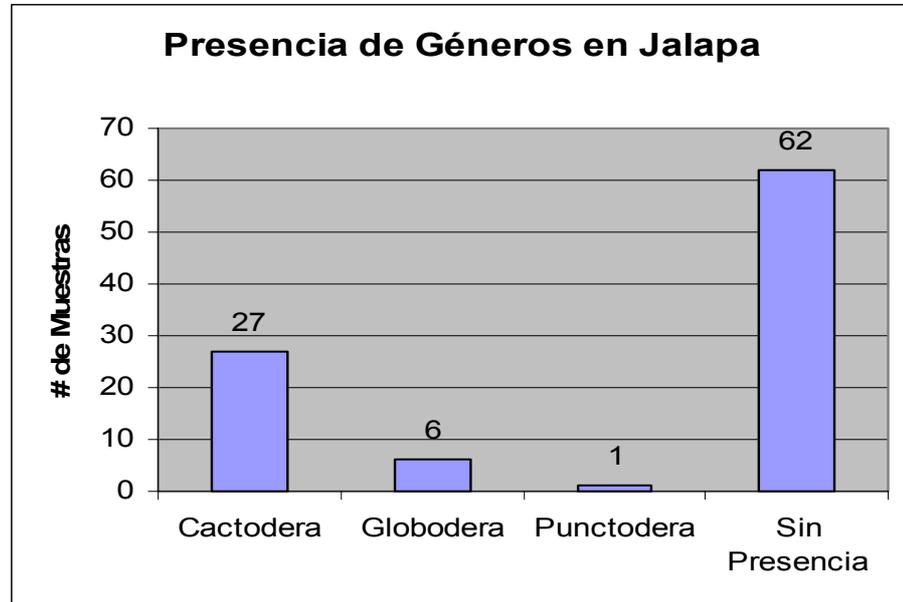
En este estudio se analizaron un total de 96 muestras, de las cuales 34 muestras dieron positiva la presencia de nematodos de quiste (ver figura 12) lo que equivale a un 35 % del total de las muestras. En 62 muestras se dio negativa la presencia de nematodos de quiste. Lo que equivale a un 65 % del total de muestras analizadas.



**Figura 12** Presencia de nematodos de quiste en Jalapa.

Como lo muestra la gráfica la presencia de nematodos de quiste se hizo evidenciar en un 35 % del total de las muestras. Presentando los distintos géneros en ellas. De las 34 muestras que tuvieron presencia positiva de quistes en 27 muestras (28%) se encontró el género *Cactodera*, en 6 muestras (6%) se encontró el género *Globodera* y en 1 sola muestra (1%) se encontró el género *Punctodera* (ver figura 13).

Los diferentes géneros de nematodos encuentran favorables las condiciones del ambiente del municipio de Jalapa para su reproducción y sobrevivencia. Se mantienen ante una temperatura de 23 °C y una relación de evapotranspiración potencial del 1 %. Se pueden desarrollar sin ningún problema sobre los suelos franco arenosos finos de una profundidad promedio de 17 cm y con un drenaje interno lento.



**Figura 13** Presencia de los diferentes géneros de nematodos en el municipio de Jalapa.

### 7.2.2 Interacción de los distintos géneros en Jalapa

La dispersión de los géneros de nematodos se hizo evidenciar de una forma muy clara en este estudio. En las muestras que dieron positivo a la presencia de nematodos casi siempre se obtuvo un género de nematodos por muestra, sin embargo la interacción que presentó el género *Globodera* con el género *Cactodera* se pudo observar en 4 de las 96 muestras.

El asocio de géneros puede darse gracias a que los agricultores de la zona cultivan papa, sin embargo, no realizan prácticas de manejo de malezas, lo que puede provocar que el ciclo de vida de los nematodos se desarrolle sin ningún problema, para *Globodera* que es patógeno de las solanáceas y para *cactodera* que es patógeno de polygonaceás y de malezas (ver cuadro 4).

**Cuadro 4** Ubicación de las localidades con interacción de géneros de nematodos en Jalapa.

No.	Localidad			<i>Globodera</i> #quistes / 300cc	<i>Cactodera</i> #quistes / 300cc
		x	y		
		Latitud	Longitud		
32	Las Guacamayas	14.58173	90.10037	12	8
40	Los Hernández	14.55843	90.11228	25	8
46	Los Hernández	14.56249	90.11200	9	15
51	Miramundo	14.55239	90.10727	8	15

### 7.3 Resultados del Bioensayo

Luego de la determinación de la presencia del género *Globodera* en seis de los puntos de muestreo realizados en Jalapa, se procedió a realizar la fase de bioensayo. Se reubicaron los puntos de muestreo y se realizó una extracción adicional para obtener quistes, los cuales fueron utilizados en esta prueba. Se esterilizó el suelo en él autoclave a 20 PSI por espacio de 2 horas y se calculó un promedio de dos libras por maceta. Se utilizaron tres repeticiones por punto de muestreo, por lo tanto se utilizaron 18 macetas plásticas de color transparente (Figura 14).



**Figura 14** Macetas de papa Utilizadas en el Bioensayo. Fuente: El autor

Luego se contaron un promedio de 25-30 quistes del género *globodera* y se colocaron en un pedazo pequeño de papel para té, este fue colocado justo debajo de un tubérculo de papa en cada una de las macetas. Las macetas eran examinadas cada 5 días para identificar el posible ataque de los nematodos en las plantas, sin embargo este resultado dio negativo pues no se encontraron plantas con la presencia de estos nematodos en sus raíces.

Al pasar los 65 días se extrajeron cada una de las plantas de papa y fueron cuidadosamente examinadas al estereoscopio. Y no se notó ninguna clase de síntoma o efecto provocado por el ataque de nematodos. Las raíces se mantuvieron sanas y con un desarrollo normal, algunas plantas presentaron estolones en sus raíces (Figura 15).



**Figura 15** A) Maceta de papa inoculada con quistes del género *Globodera*. B) Raíz de papa completamente sana. Fuente: Autor.

Se puede ver que las raíces permanecen sanas y sin ningún tipo de daño, esto implica que no presentan ningún síntoma de patogenicidad ocasionada por los nematodos; luego de que han transcurrido por lo menos 45 días desde que la maceta fue inoculada con quistes de nematodos del género *Globodera* (Figura 16).



**Figura 16** A) Raíz de una planta de papa completamente sana. B) Raíces de papa sanas y con presencia de estolones de papa. Fuente: El autor.

## 7.4 Consideraciones Finales

Los miembros de la Sub-familia *Heteroderinae* tienen una morfología similar y frecuentemente se distinguen por pequeñas diferencias morfológicas. En este estudio se presentaron tres diferentes géneros, los cuáles se encuentran en las áreas cultivadas con papa en el municipio de Jalapa, estos nematodos pertenecen a los géneros *Cactodera*, *Globodera* y *Punctodera*.

El género *Globodera* se presentó con una incidencia del 6 % del total de muestras. Y con una densidad poblacional de 9 hasta 25 quistes por muestra de 300 cc de suelo. Los quistes encontrados para este género presentaron una relación de Granek's de 1.76 que al ser comparada con las relaciones para los quistes de *G. pallida* y *G. rostochiensis* presentadas en la literatura, no coinciden con las mediciones presentadas para los quistes de este género. Por lo tanto podemos descartar la presencia de este tipo de nematodos en los suelos muestreados del municipio de Jalapa. Los nematodos del género *Globodera* son parásitos de solanáceas y de otras plantas, sin embargo los resultados del bioensayo de patogenicidad para estos nematodos mostró un resultado negativo, de los quistes que fueron inoculados ningún quiste mostró adherencia, ni formación de un sincitio en la raíz de las plantas de papa.

Esto hace pensar que las especies presentes en Jalapa puedan ser parásitas facultativas o secundarias de estas plantas y/o pertenecer a un complejo de especies que son parásitas de otro tipo de plantas. Las raíces permanecieron intactas y su desarrollo radicular y vegetal se mostró normal.

El género *Cactodera* se presentó con una incidencia más alta que los demás nematodos, este género ha sido reportado como parásito de plantas pertenecientes a la sub-clase Caryophyllidae, entre ellas las cactáceas y otras polygonáceas. Además afecta muchas plantas que son cultivadas en invernadero. Lo que demanda la realización de estudios específicos para identificar la relación de este género de nematodo con los cultivos presentes en la zona.

El género se presentó en 27 de las 96 muestras y sus densidades poblacionales estuvieron entre los 13 y los 27 quistes por 300 cc de suelo.

Para el género *Punctodera* únicamente se encontró una muestra en todo el estudio que tuviera la presencia de este género. Por lo tanto pasa a ser el género con la menor incidencia y mostró una densidad de 12 quistes por 300 cc de suelo. Estos nematodos se caracterizan por ser parásitos de plantas como el maíz *Zea mays* L. y está reportado para varias especies de la familia Poaceae como lo son el pasto de invierno *Poa Annua* L. y el teosinte *Zea mexicana* L.

## 8. CONCLUSIONES

- 1.- El nematodo dorado *G. rostochiensis* (Woll) Behrens, no se encontró presente en las áreas de producción de papa muestreadas del municipio de Jalapa.
- 2.- Según el bioensayo realizado los géneros de nematodos *Cactodera*, *Globodera* y *Punctodera* presentes en las áreas de cultivo del municipio de Jalapa, no son parásitos de él cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.).
- 3.- Los géneros presentes en las áreas de cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) muestreadas en el municipio de Jalapa son: *Cactodera*, *Globodera* y *Punctodera*.

## 9. RECOMENDACIONES

- 1.- Se deben realizar estudios más específicos para esta región que conlleven la determinación de nematodos de quiste utilizando técnicas alternativas como el análisis de ADN por medio de PCR para la determinación a nivel de especie de los nematodos presentes en Jalapa.
- 2.- Se deben de promover estrategias de monitoreo y traslado de semilla de papa en todo el país con el fin de evitar la dispersión de los nematodos a diferentes áreas de cultivo de la nación.
- 3.- Realizar estudios dirigidos a el Género *Cactodera*, que es el nematodo que mostró más incidencia en las áreas cultivadas con papa en el municipio de Jalapa. Para así conocer su relación con los diferentes cultivos en la región.
- 4.- Se deben de promover alternativas de producción de semilla a nivel local en el municipio de Jalapa con el fin de que no se tenga que traer semilla de papa de lugares que puedan estar infestados con otros diferentes tipos de nematodos o de cualquier plaga que pueda afectar el cultivo.
- 5.- Realizar un estudio similar en 2 años para mantener un control fitosanitario del cultivo y evitar conflictos futuros como el ocurrido anteriormente.
- 6.- Se recomienda realizar estudios de especies silvestres aledañas que pueden servir como posibles hospederos de los nematodos encontrados.

## 10. BIBLIOGRAFIA

1. Agrios, GN. 1998. Fitopatología. Trad. por Manuel Guzmán. 2 ed. México, Limusa. 838 p.
2. Álvarez Cajas, V. 1988. Tamaño de muestra: procedimientos usuales para su determinación. Tesis MSc. Chapingo, México, Colegio de Post-Graduados. 176 p.
3. Blanco, L. 2004. Determinación de la presencia del nematodo dorado *Globodera Rostochiensis* Woll. y otros nematodos de quiste de la sub familia Heteroderinae, en las áreas de producción de papa *Solanum Tuberosum* L. de Palencia, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 84 p.
4. Brodie, BB; Mai, WF. 1988. Control of golden nematode in the United States. Annual Review of Phytopathology 27:443-461.
5. Burrows, PR. 1990. The rapid and sensitive detection of the plant parasitic nematode *Globodera pallida* using a biotinylate DNA probe. Revue Nématol. 13:185-190.
6. CAB International (Commonwealth Agricultural Bureaux International, UK). 2003. Crop protection compendium [disco compacto]. United Kingdom. 2 CD.
7. Canto-Sáenz, M; Mayer De Scurrah, M. 1977. Races of the potato cyst nematode in the andean region and a new system of classification. Nematologica 23:340-349.
8. Chamberlain, R; Barbuxano, IV. 1961. Potato root eelworm in the Canary Islands. Nature 189(3):773.
9. Christie, JR. 1959. Plant nematodes-their bionomics and control. Gainsville , FI, US, Illus. Univ. 256 p.
10. Cotten, J. 1991. Quarantine procedure *Globodera pallida* y *G.rostochiensis*. EPPO Bulletin (England) 21(2):233-240.
11. COSAVE (Comité de Sanidad Vegetal del Cono Sur, PY). 2002. Hojas de datos sobre organismos cuarentenarios para los países miembros del COSAVE; ficha cuarentenaria, *Globodera rostochiensis*. Consultado Sept. 2002. Disponible en [www.cosave.org.py/lpcgloboderarostochiensis.htm](http://www.cosave.org.py/lpcgloboderarostochiensis.htm).
12. Cruz, JR De La. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
13. EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization, EU) / CAB (Commonwealth Agricultural Bureaux International, UK). 1997. Quarantine pest for Europe. *Globodera rostochiensis* data sheets on quarantine pest. 2 ed. UK. p. 601-606.
14. Fenwick, DW; Oostenbrink, M. 1971. Extraction of *Heterodera* cysts from dried soil with the modified Fenwick can. In Manual for practical work in nematology. The Netherlands, International Postgraduate Nematology Course. p. 25-27.

15. Ferris, VR; Miller, LI; Faghihi, J; Ferris, JM. 1995. Ribosomal DNA comparisons of *Globodera* from two continents. *J. Nematol.* 27:273-283.
16. García Martínez, A. 1980. Estudio analítico taxonómico de los nematodos de quiste (*Heterodera* sp.) en Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 38 p.
17. Gómez, J. 2002. Información general de la papa en Guatemala (entrevista personal). Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Unidad de Normas y Regulaciones.
18. Greco, N. 1988. Potato cyst nematode: *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Nematology* 9(1):30-35.
19. Greco, N. 1993. Nematode problems affecting potato production in subtropical climate. *Nematropica* 23:213-220.
20. Greco, N.; Crozzoli, R. 2000. Nematodos del quiste de la papa, *Globodera rostochiensis* y *G. pallida*: aspectos generales (en línea). Quito, Ecuador, Saninet. Consultado 20 sept. 2002. Disponible en [www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html](http://www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html).
21. Greco, N; Di Vito, M; Brandonisio, A; Giordano, I; De Marinis, G. 1982. The effect of *G. pallida* and *G. rostochiensis* on potato yield. *Nematologica* 28:379-386.
22. Greco, N; Moreno, IL. 1992a. Influence of *Globodera rostochiensis* on yield of summer, winter and spring sown potato in Chile. *Nematropica* 22:165-173.
23. Greco, N; Moreno, IL. 1992b. Development of *Globodera rostochiensis* during three different growing seasons in Chile. *Nematropica* 22:175-181.
24. Gudiel, VM. 1987. Manual agrícola Superb. 6 ed. Guatemala, Productos Superb. 393 p.
25. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1980. Diccionario geográfico de Guatemala. v.2, 791 p.
26. Jensen, AJ; Armstrong, J; Jatala, P. 1979. Annotated bibliography of nematode pest of potato. Lima, Perú, International Potato Center. 315 p.
27. Jones, SB. 1987. Sistemática vegetal. Trad. María de Huescas. 2 ed. México, McGraw-Hill. 536 p.
28. Karssen, G; Hoenselaar Van, T; Verkerk-Bakker, B. 1995. Species identification of cyst and root-knot nematodes from potato by electrophoresis of individual females. *Electrophoresis* 16:105-109.
29. Kort, J; Ross, H; Rumpfenhorst, HJ; Stone, AR. 1977. An international scheme for identifying and classifying pathotypes of potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *Nematologica* 23:333-339.

30. Lavagnino, O. 2002. Información general de la papa en Guatemala (entrevista personal). Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Sistema de Vigilancia Fitosanitaria, región Jutiapa.
31. Mai, WF. 1976. Worldwide distribution of potato cyst nematodes and their importance in crop production. *Journal of Nematology* 9(1):30-35.
32. Moreno, I; Vovlas, N; Lamberti, F. 1984. Species of potato cyst nematodes from Chile. *Nematología Mediterránea* 12(2):247-252.
33. Niño De G, L; Flores, M. 1994. Identificación de especies y patotipos de tres poblaciones del nemátodo quiste de la papa (*Globodera* spp.) provenientes de los estados Mérida y Lara. *In* Congreso Venezolano de Hortalizas (6., 1994, VE). Memorias. Maracay, Venezuela. p. 45.
34. OMC (Organización Mundial del Comercio, SZ). 1994. Acuerdo sobre la aplicación de medidas sanitarias y fitosanitarias. s.l. 16 p.
35. Ortuño, N. 1998. Producción de tubérculos para semilla de papa libre de nematodos; hoja técnica. *Revista Manejo Integrado de Plagas*. Consultado en Sept. 2002. Disponible en [www.catie.ac.cr/información/RMIP/rmip52.htm](http://www.catie.ac.cr/información/RMIP/rmip52.htm).
36. Ramírez, A. 1979. Muestreo poblacional del nematodo dorado (*Globodera rostochiensis*) y otros nematodos asociados al cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L). *Agronomía Costarricense* 3(1):13-20.
37. Ramírez, A; Bianchini, P. 1973. El nematodo dorado (*Heterodera rostochiensis*, Woll.) en Costa Rica. Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 35 p.
38. Rowe, J; Evans, K. 2002. Morfología de la familia Heteroderidae: parte del curso: nematodos formadores de quistes. Montecillo, México, Colegio de Post-Graduados, Instituto de Fitosanidad. 55 p.
39. Salguero, M. 2003. Determinación de la presencia de nematodos de quiste asociados al cultivo de la papa *Solanum tuberosum* L. en el municipio de Patzicía, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 91 p.
40. Schots, A; Bakker, J; Gommers, FJ; Bouwman-Smits, L; Egberts, E. 1987. Serological differentiation of the potato cyst nematodes *Globodera pallida* and *G. rostochiensis*: partial purification of species-specific proteins. *Parasitology* 95:421-428.
41. Shluter, K. 1976. The potato cyst eelworm *Heterodera rostochiensis* Woll. in Morocco: Its distribution and economic importance. *Journal of Plant Disease and Plant Protection* 83:401-405.
42. Simmons, C; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.
43. Spears, JF. 1968. Golden nematode handbook: survey, laboratory, control and quarantine procedures. USDA. Agricultural Research Service. 81 p. (Agriculture Handbook no. 353).

44. Stone, A. 1973. A *Heterodera rostochiensis*. England, CIH. 4 p. (Descriptions of Plant Parasitic Nematodes Set 2 no. 15).
45. Stone, AR. 1973. *Heterodera pallida*. Farnham Royal, UK, CIH / CAB. 2 p. (Descriptions of Plant Parasitic Nematodes, Set 2, no. 17).
46. USAC, Facultad de Agronomía, GT, 2001. Manual de prácticas de laboratorio: curso nematodos fitopatógenos. Guatemala. 20 p.
47. USPADA (Unidad Sectorial de Planificación Agropecuaria y de Alimentación, GT) / BANGUAT (Banco de Guatemala, GT). 2001. Producción y comercialización de la papa en Guatemala. Guatemala. 3 p. (Partida SAC 07-01-90-00).
48. Williams, TD; Siddiqui, MR. 1972. CIH: description of plant parasitic nematodes. Willingford, UK, CAB International. s.p.
49. Zuckerman, B., Mai, W., Rodhe, R., 1981. Plant parasitic nematodes. New York. Academic press. V. 1, 354 p.

## 11. APENDICES

**Cuadro 5 “A”** Ubicación y Presencia de Géneros de Nemátodos de Quiste Asociados al Cultivo de la Papa en Jalapa

**NEP= No existe presencia**

**HP = Hay Presencia**

No.	Localidad	Latitud	Longitud	Presencia	Géneros Presentes		
					Cactodera	Globodera	Punctodera
1	El Aguacate	14,56694	90,10715	NEP			
2	El Aguacate	14,56698	90,10757	NEP			
3	El Aguacate	14,56333	90,11013	HP	15		
4	El Aguacate	14,56565	90,10905	NEP			
5	La Soledad	14,54261	90,12863	HP		20	
6	La Soledad	14,54130	90,12692	HP	10		
7	La Soledad	14,54085	90,12652	NEP			
8	La Soledad	14,54336	90,12939	NEP			
9	La Soledad	14,54086	90,12533	NEP			
10	La Esperanza	14,55754	90,12006	NEP			
11	La Esperanza	14,55433	90,11960	NEP			
12	La Esperanza	14,55843	90,12136	NEP			
13	La Esperanza	14,55502	90,11842	NEP			
14	La Esperanza	14,55482	90,11882	NEP			
15	La Esperanza	14,55777	90,12209	NEP			
16	Buena Vista	14,57598	90,13018	NEP			
17	Buena Vista	14,57068	90,13294	NEP			
18	Buena Vista	14,57291	90,13197	NEP			
19	Buena Vista	14,57706	90,12983	NEP			
20	Buena Vista	14,57449	90,13213	NEP			
21	El Bosque	14,55431	90,12363	HP	17		
22	El Bosque	14,55924	90,12512	HP	14		
23	El Bosque	14,55821	90,12553	HP	26		
24	El Bosque	14,55961	90,12439	HP	13		
25	El Bosque	14,56246	90,12373	NEP			
26	El Bosque	14,55972	90,12584	NEP			
27	El Bosque	14,55902	90,12623	HP	9		
28	El Bosque	14,55542	90,12022	NEP			
29	LasGuacamayas	14,58323	90,09933	NEP			
30	Las Guacamayas	14,58253	90,10007	NEP			
31	Las Guacamayas	14,58330	90,09847	NEP			
32	Las Guacamayas	14,58173	90,10037	HP	8	12	
33	Las Guacamayas	14,58005	90,10365	NEP			
34	Las Guacamayas	14,57257	90,10635	HP	10		
35	Las Guacamayas	14,57320	90,10667	NEP			
36	Los Hernández	14,55712	90,11327	HP	15		
37	Los Hernández	14,55599	90,11465	NEP			
38	Los Hernández	14,55784	90,11484	HP	9		
39	Los Hernández	14,55478	90,11699	NEP			
40	Los Hernández	14,55843	90,11228	HP	8	25	
41	Los Hernández	14,55902	90,11195	NEP			

42	Los Hernández	14,55875	90,11263	HP	8		
43	Los Hernández	14,5621	90,11217	HP	14		
44	Los Hernández	14,56291	90,11259	NEP			
45	Los Hernández	14,55599	90,11572	NEP			
46	Los Hernández	14,56249	90,11200	HP	15	9	
47	Miramundo	14,54201	90,10131	NEP			
48	Miramundo	14,55110	90,10228	NEP			
49	Miramundo	14,55309	90,10700	HP			12
50	Miramundo	14,55351	90,10896	HP	23		
51	Miramundo	14,55239	90,10727	HP	15	8	
52	Miramundo	14,54169	90,10010	NEP			
53	Miramundo	14,54059	90,10104	NEP			
54	Miramundo	14,55448	90,10415	NEP			
55	Miramundo	14,54965	90,10999	NEP			
56	Miramundo	14,51138	90,10304	NEP			
57	Miramundo	14,54020	90,09885	NEP			
58	Miramundo	14,54138	90,10304	NEP			
59	Miramundo	14,54574	90,10765	HP	16		
60	Miramundo	14,54652	90,10679	NEP			
61	Miramundo	14,54662	90,10175	NEP			
62	Miramundo	14,55380	90,10835	NEP			
63	Miramundo	14,54013	90,10204	NEP			
64	Miramundo	14,54799	90,10109	NEP			
65	Miramundo	14,53898	90,09730	HP	22		
66	Miramundo	14,55377	90,10643	NEP			
67	Miramundo	14,54553	90,10176	NEP			
68	Miramundo	14,55474	90,10625	HP	15		
69	Miramundo	14,55268	90,10809	NEP			
70	Miramundo	14,53953	90,09803	NEP			
71	Miramundo	14,55416	90,10762	NEP			
72	Miramundo	14,55346	90,10300	NEP			
73	Miramundo	14,54413	90,11517	NEP			
74	El Sauzal	14,55594	90,12249	NEP			
75	El Sauzal	14,55797	90,12430	NEP			
76	El Sauzal	14,55300	90,12085	NEP			
77	El Sauzal	14,55040	90,12116	HP	12		
78	El Sauzal	14,55184	90,11828	HP	13		
79	El Sauzal	14,55147	90,11774	NEP			
80	El Sauzal	14,55412	90,12156	HP	22		
81	El Sauzal	14,55407	90,12217	NEP			
82	El Sauzal	14,55297	90,12173	HP	8		
83	El Sauzal	14,55159	90,11648	HP	25		
84	El Sauzal	14,55251	90,11932	NEP			
85	El Sauzal	14,55267	90,11870	NEP			
86	El Sauzal	14,54947	90,12080	NEP			
87	El Sauzal	14,55062	90,11623	NEP			
88	El Sauzal	14,55289	90,12394	NEP			
89	El Sauzal	14,55133	90,12107	NEP			
90	El Sauzal	14,55261	90,12135	NEP			
91	El Sauzal	14,55356	90,12189	HP	27		

92	El Sauzal	14,55146	90,11774	NEP			
93	El Sauzal	14,55363	90,12259	NEP			
94	El Sauzal	14,55166	90,12020	HP	22		
95	El Sauzal	14,55431	90,12363	HP		15	
96	El Sauzal	14,55478	90,12263	NEP			

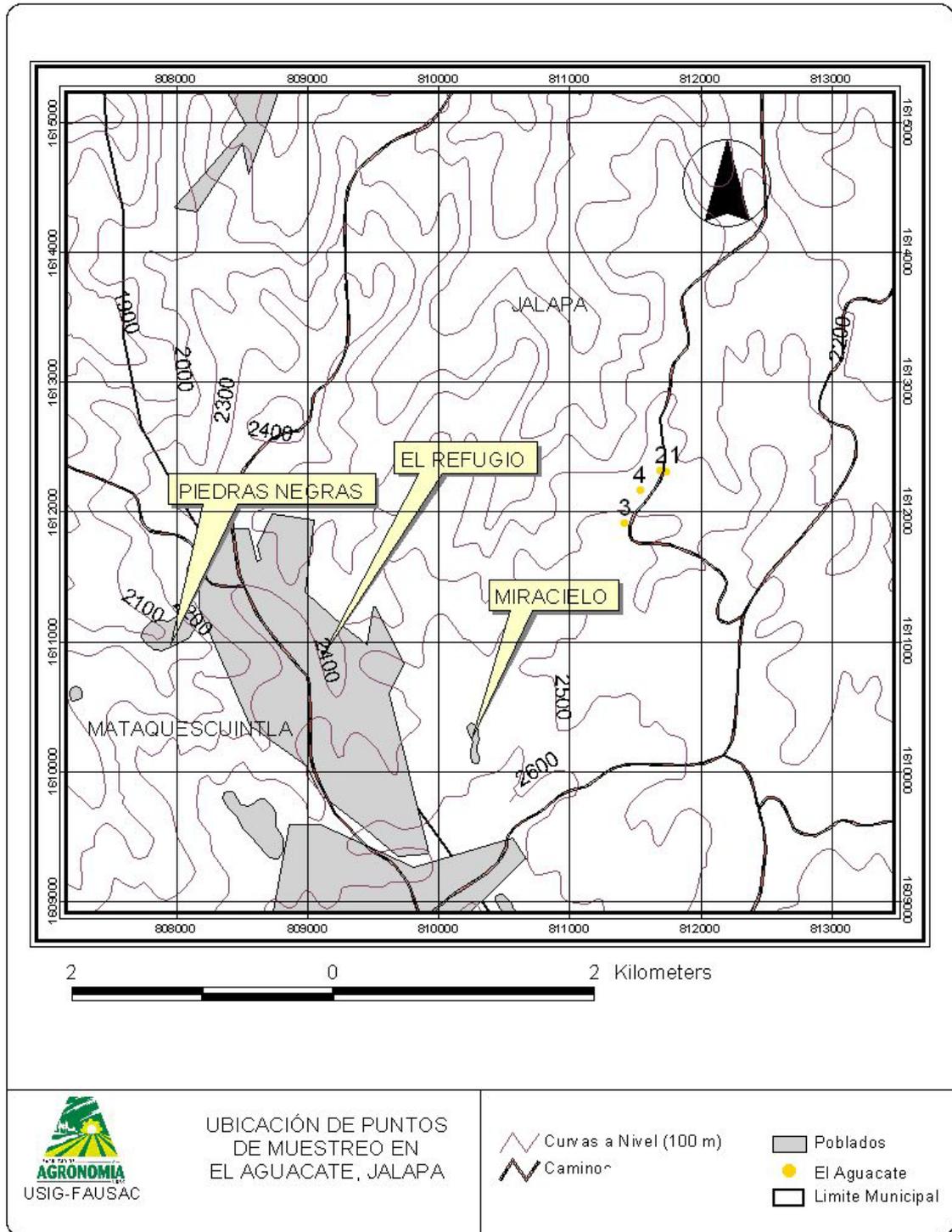


Figura 17 “A” Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea el Aguacate.

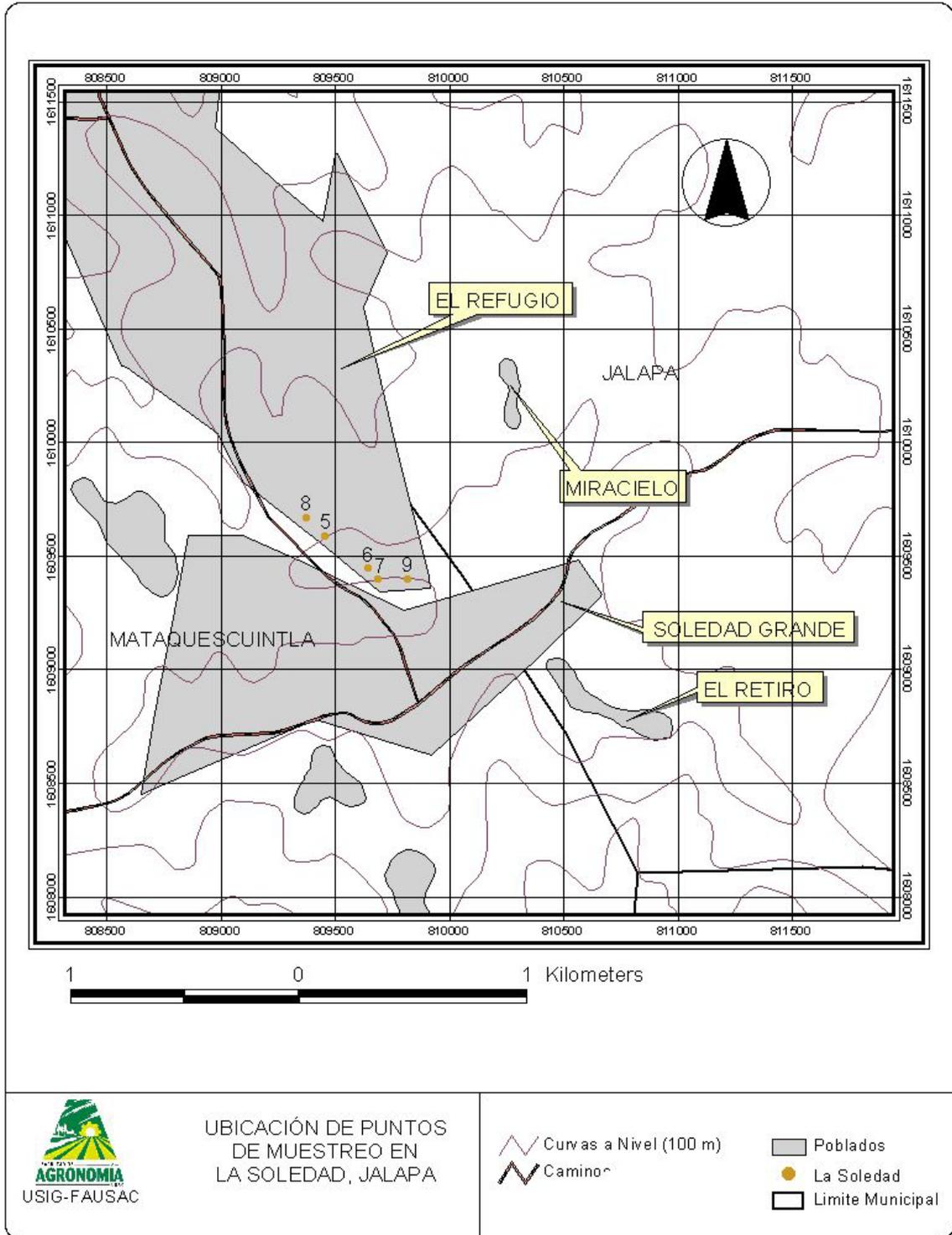


Figura 18 "A" Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea La Soledad.

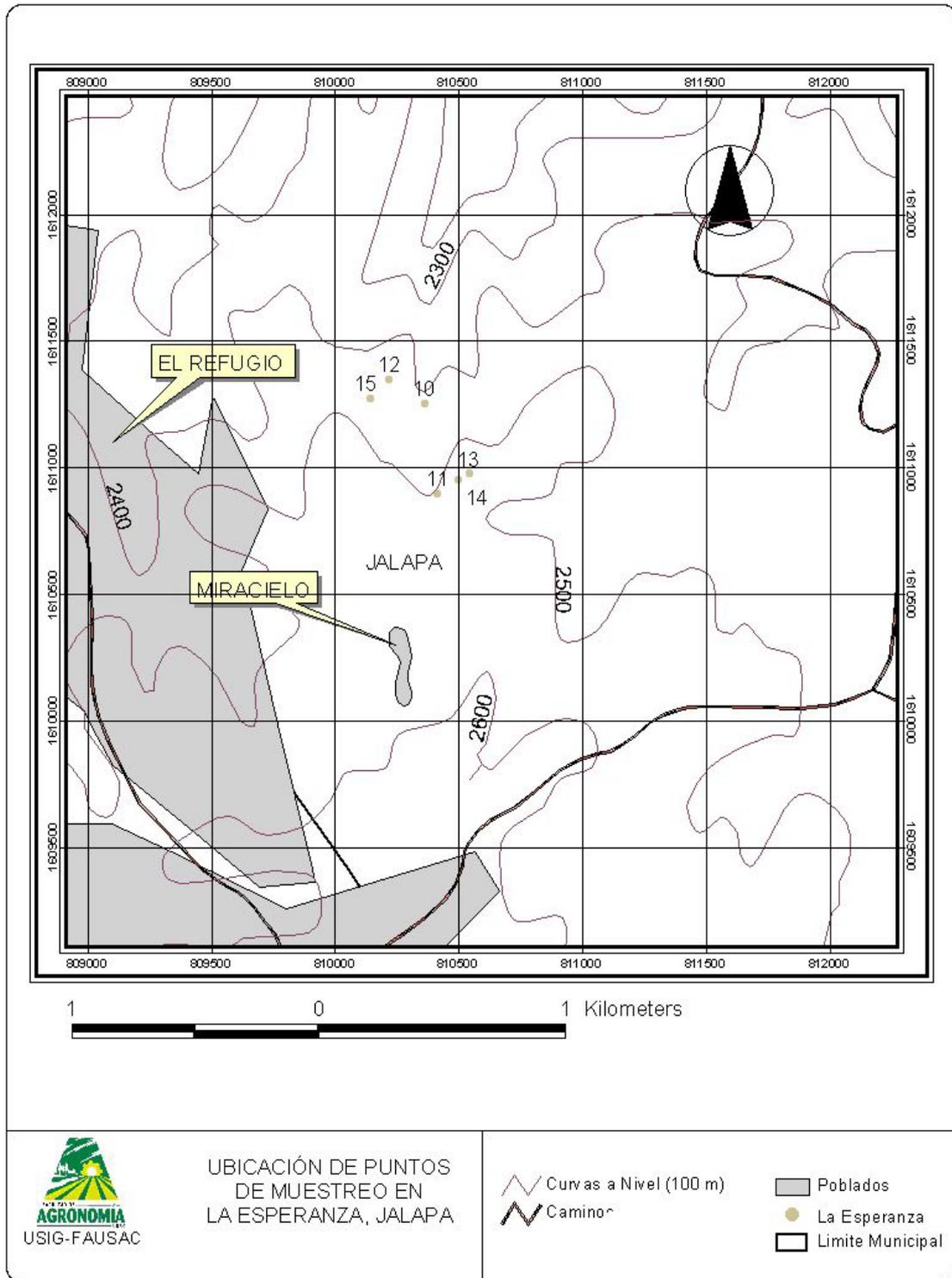


Figura 19 “A” Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea La Esperanza.

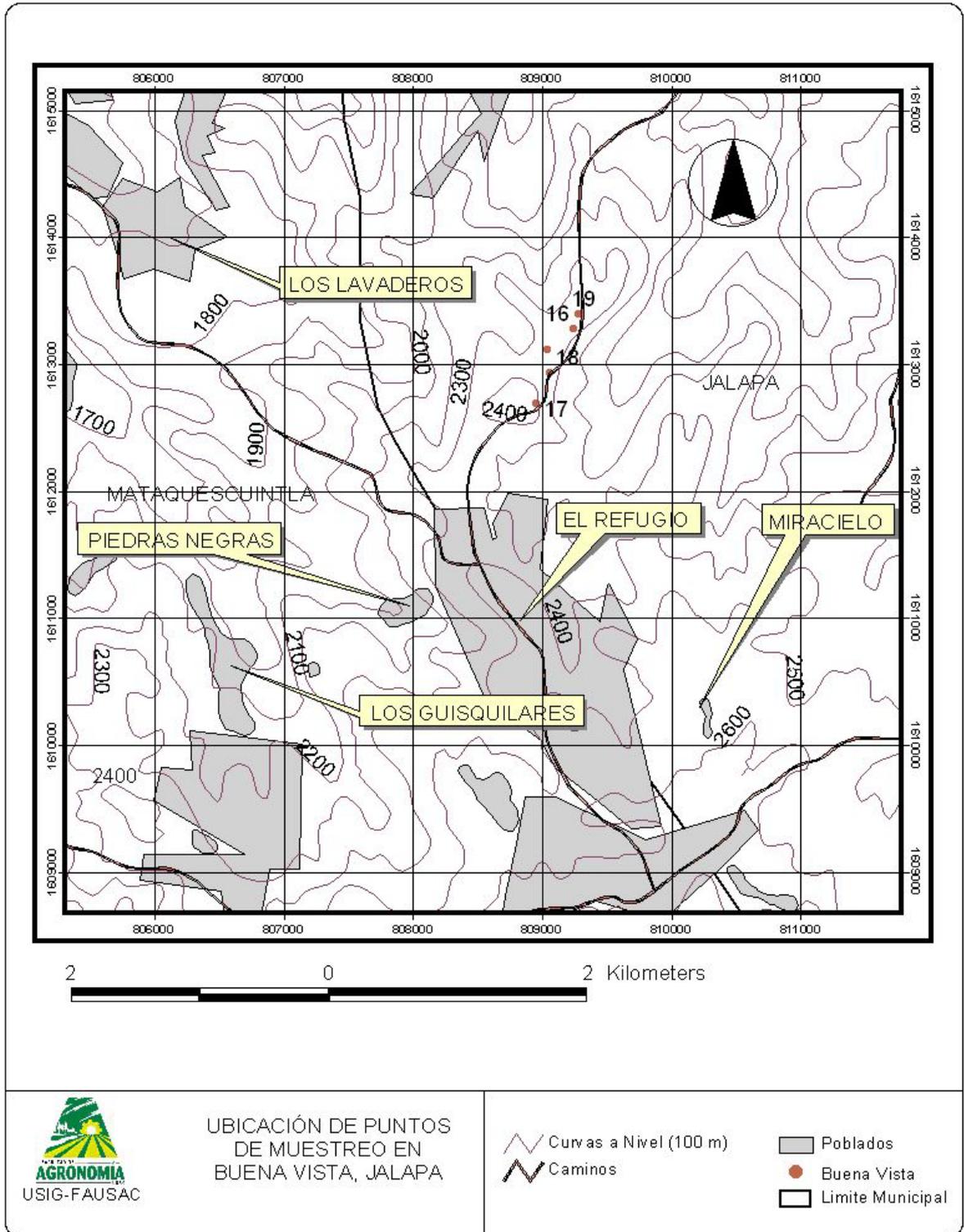


Figura 20 “A” Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea Buena Vista.

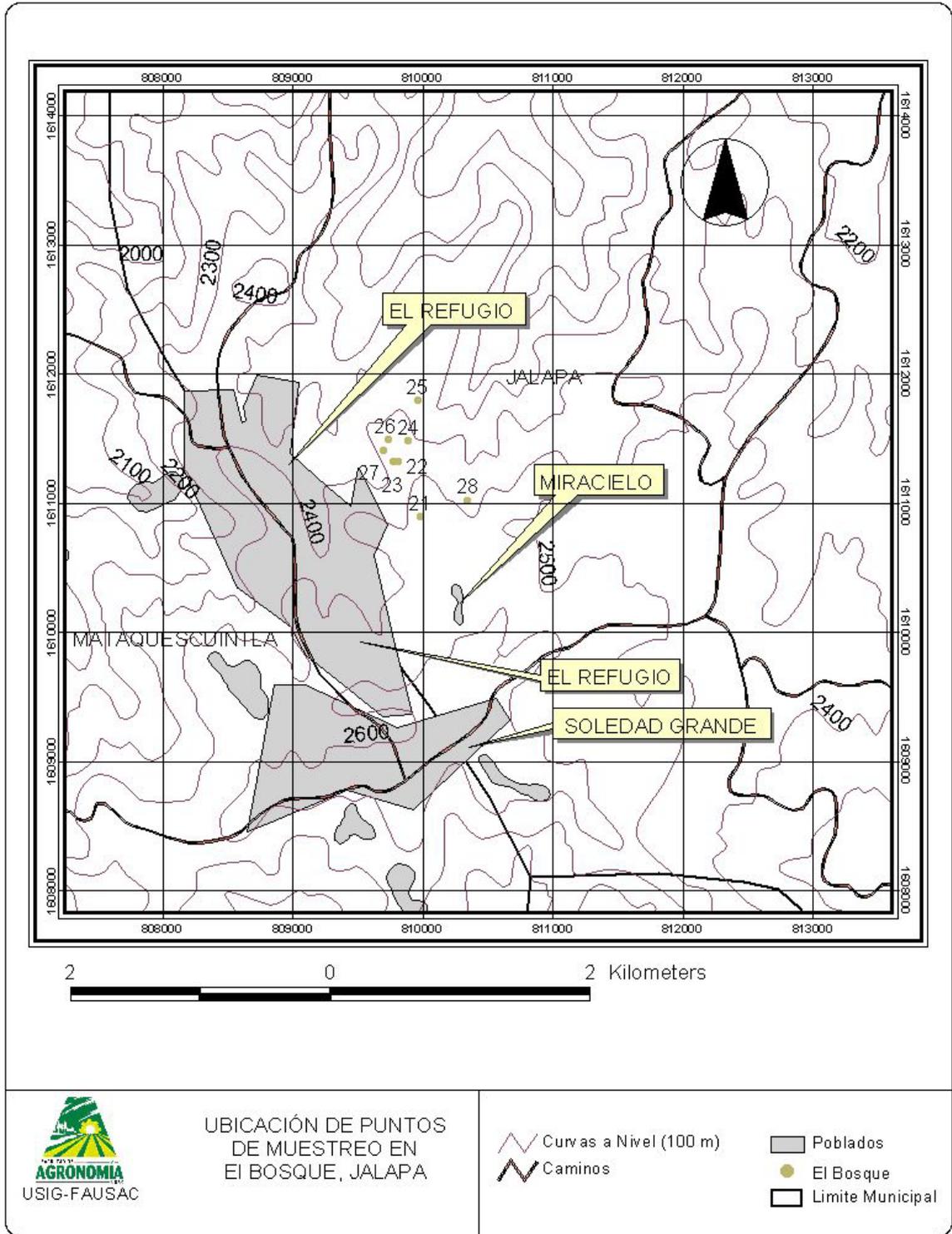


Figura 21 “A” Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea El bosque.

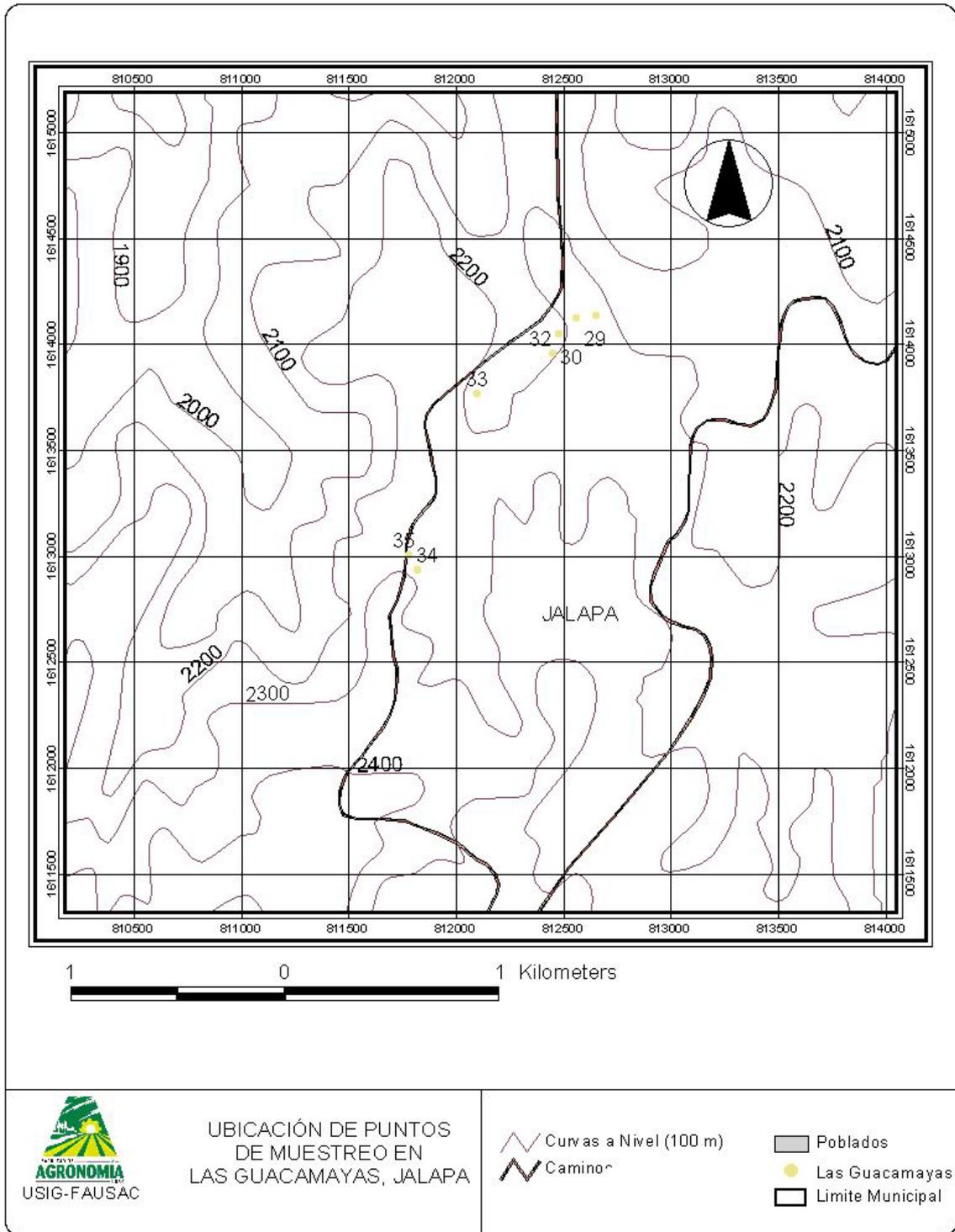
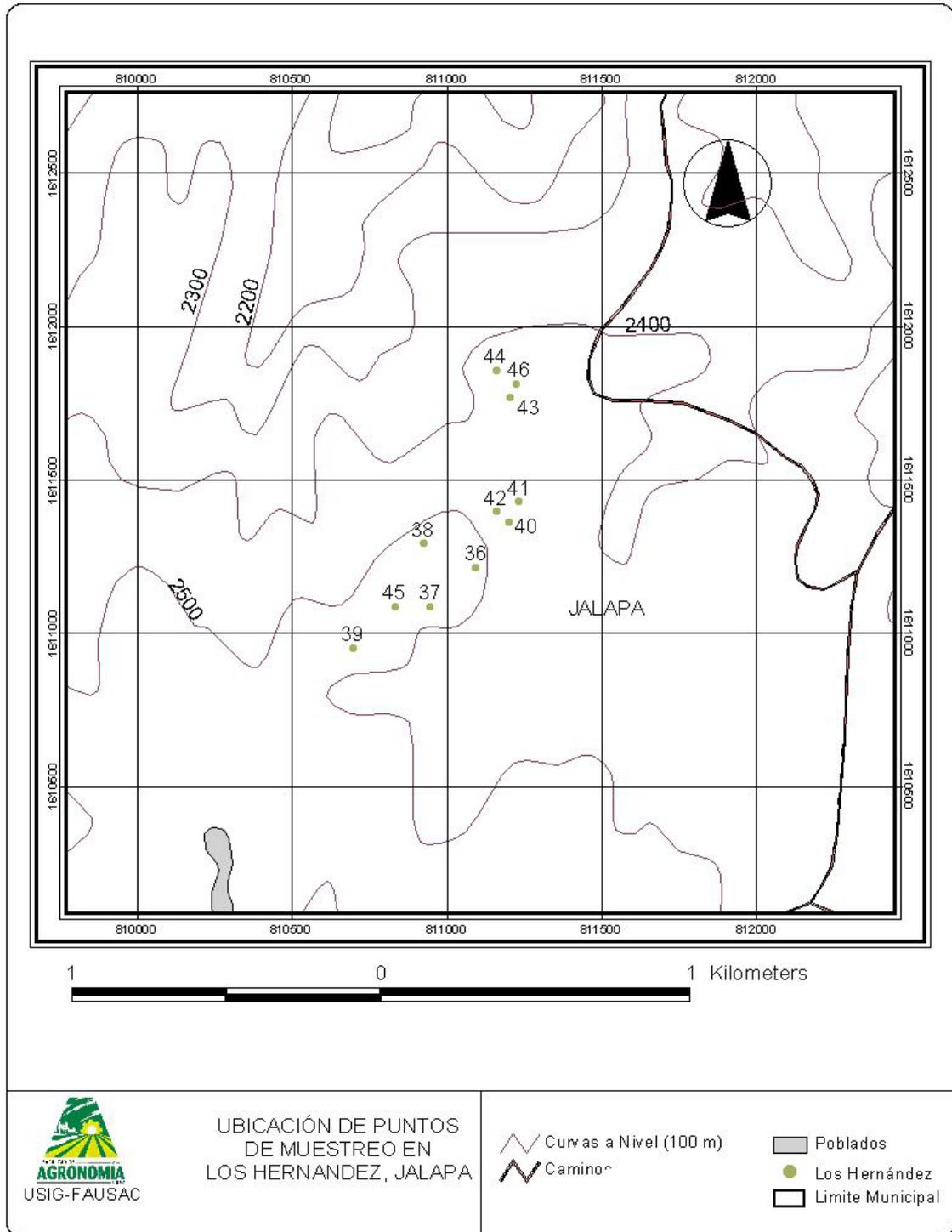
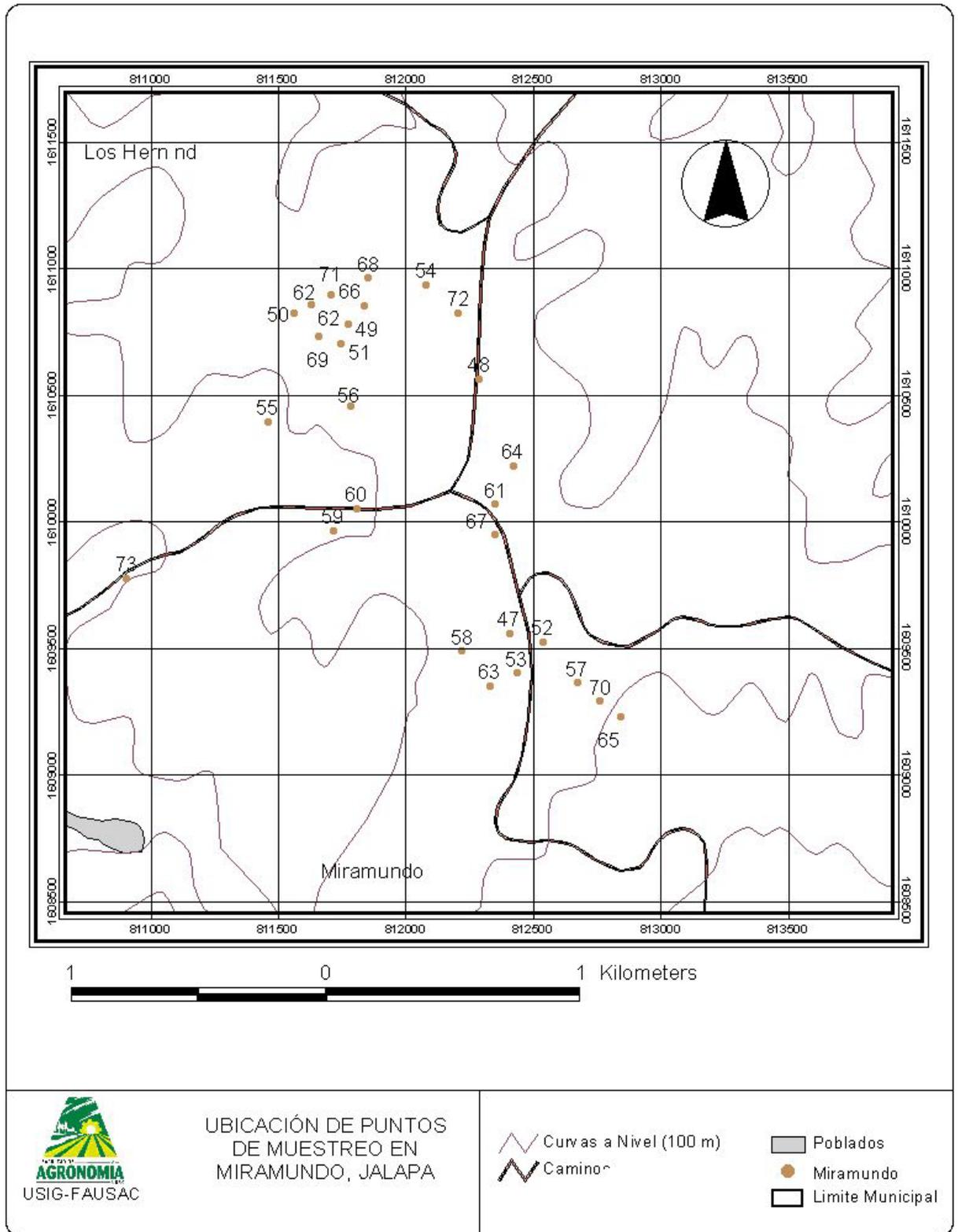


Figura 22 “A” Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea Las Guacamayas.



**Figura 23 “A”** Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea Los Hernández.



**Figura 24 “A”** Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea Miramundo.

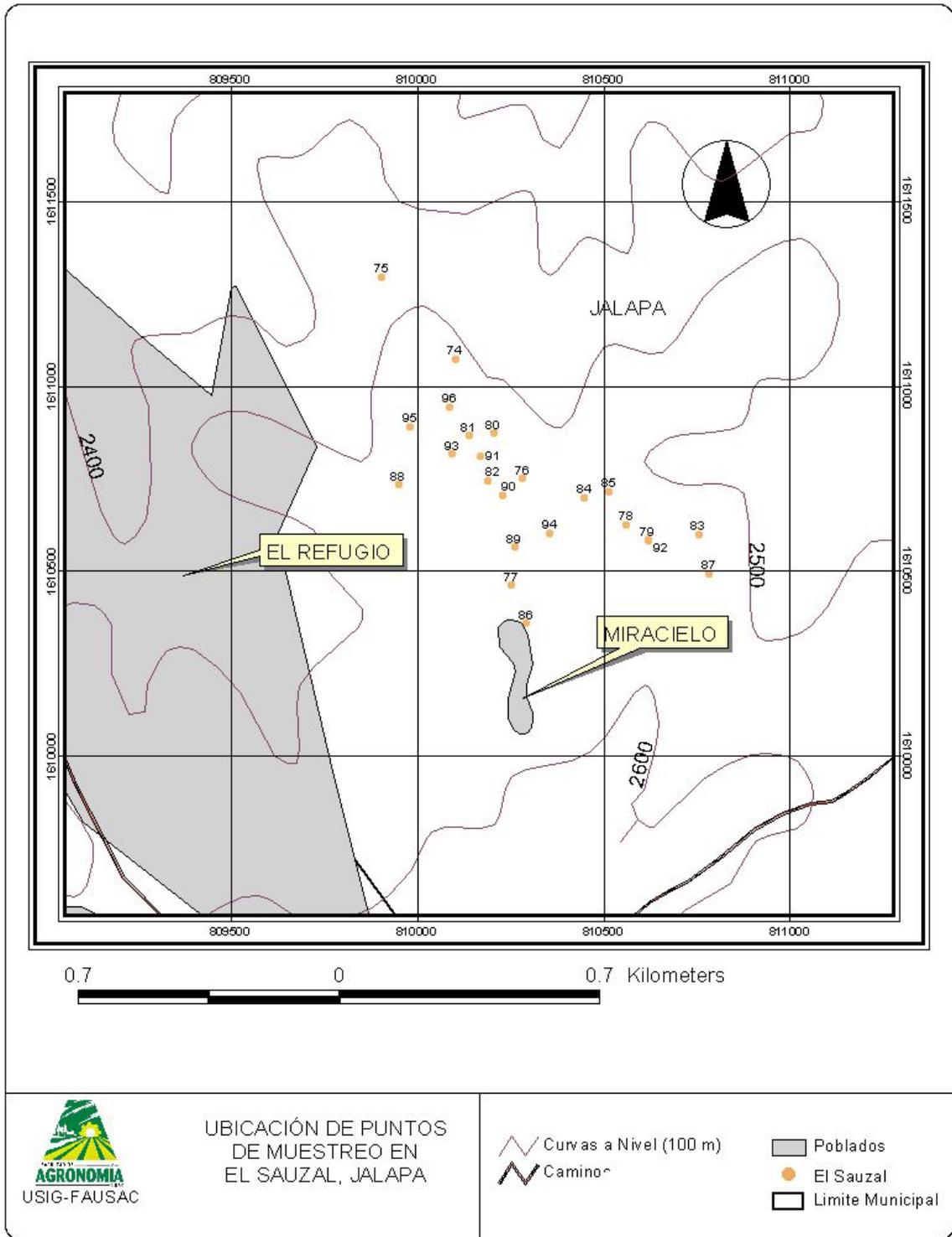


Figura 23 “A” Mapa de ubicación de puntos de muestreo en la aldea El Sauzal.



