

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Evaluación de prácticas de manejo integrado y convencional del
nematodo de quiste de la papa (*Globodera pallida* Stone 1973), en la
Estación Experimental Carlos Durán en Tierra Blanca de Cartago**

Anteproyecto para optar al grado de licenciatura en Ingeniería Agronómica

Estudiante

Álvaro Esteban Rodríguez Cordero

Tutor

Ph.D. Ricardo Piedra Naranjo

Asesores

M. Sc. Walter Peraza Padilla

Ph.D. Eduardo Salas Alvarado

Campus Omar Dengo

Heredia, Costa Rica, 2019

Evaluación de prácticas de manejo integrado y convencional del nematodo de quiste de la papa (*Globodera pallida* Stone 1973), en la Estación Experimental Carlos Durán en Tierra Blanca de Cartago

Álvaro Rodríguez Cordero


**Trabajo final de graduación de tesis sometida a consideración del tribunal
examinador de la escuela de Ciencias Agrarias para optar por el grado de
licenciatura en Ingeniería Agronómica**

Trabajo final de graduación presentado como requisito parcial para optar al grado de
Licenciado en Ingeniería Agronómica

Tribunal Examinador

M.Sc. Allan González Herrera
Representante FCTM


M.Sc. José Alonso Calvo Araya
Representante del director Escuela de Ciencias Agrarias




Ph.D. Ricardo Piedra Naranjo
Director de tesis

Eduardo Salas

Ph.D. Eduardo Salas Alvarado
Asesor



M. Sc. Walter Peraza Padilla
Asesor



Álvaro Rodríguez Cordero
Sustentante

DEDICATORIA

- El presente trabajo de investigación se lo quiero dedicar en primer lugar a Dios, por ser la fuente de inspiración, darme la oportunidad y fuerza para desarrollarlo y culminar una de mis más anheladas metas.
- A mis padres Álvaro Rodríguez Carranza y Siany Cordero Abarca, que sin el esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional que me brindaron a lo largo de la carrera, no sería esto posible y gracias a ellos hoy soy el profesional que soy reflejando todos los principios y valores que me inculcaron.
- A mi hermana, Marcela Rodríguez Cordero, un pilar fundamental para el desarrollo del trabajo a lo largo del periodo.
- A mi novia Fernanda Madriz Meléndez por su apoyo moral y aliento a lo largo de los años de trabajo hasta culminar con este proyecto.
- A mis tutores Ph.D. Ricardo Piedra Naranjo, Ph.D. Eduardo Salas Alvarado y M. Sc. Walter Peraza Padilla que, con la valiosa colaboración durante todo el proceso y desarrollo del trabajo, estuvieron presentes brindando su valioso conocimiento y aportando para que este proyecto se haga realidad.
- A mis abuelos Álvaro Rodríguez Araya, Anáis Carranza Rojas y Jorge Cordero Montero que fueron pilar esencial de apoyo, guía y soporte durante todo este tiempo de esfuerzos y lucha para concluir con este objetivo.
- Por su puesto a la memoria de mi abuela Lidia María Abarca Rojas, que desde pequeño me inculcó el amor por las plantas, me enseñó a siempre tener una sonrisa en el rostro y también por del apoyo que brinda desde el cielo.

AGRADECIMIENTOS

- Gracias a Dios por la oportunidad de realizar esta investigación y por todas las enseñanzas que me ha dejado a lo largo del proceso.
- A mis padres que gracias a ellos con sus palabras de motivación y apoyo pude sacar este trabajo adelante.
- A mi hermana que siempre estuvo apoyándome y que al igual que mis padres siempre confió en mí.
- A Fernanda Madríz Meléndez: su apoyo en todo momento fue muy importante para culminar esta etapa.
- A mis tutores de tesis que sin sus consejos, comentarios, experiencia y conocimientos no hubiera sido posible la culminación de este proyecto.
- A la Universidad Nacional y Facultad de Ciencias Agrarias, por todas las enseñanzas adquiridas a lo largo de la carrera de Ingeniería en Agronomía, que fue base fundamental para el desarrollo de la investigación.
- Al INTA (Instituto Nacional de Innovación y desarrollo de Tecnologías Agropecuarias), por darme la confianza y abrirme las puertas para realizar el trabajo, así como a las personas que laboran en la institución, quienes fueron parte importante durante el proceso.
- A todas las personas, familiares, amigos, colegas, etc, que de una u otra manera intervinieron de manera directa o indirecta y aportaron un granito de arena para el desarrollo del trabajo.

RESUMEN

El género *Globodera*, comúnmente llamado nematodo quiste de la papa, es una de las principales plagas del cultivo de la papa a nivel mundial y en Costa Rica no es la excepción. El objetivo general de este estudio fue comparar la densidad poblacional de *Globodera pallida* en parcelas infestadas naturalmente utilizando prácticas convencionales y prácticas de manejo integrado. El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Carlos Durán, ubicada en Oreamuno de Cartago, durante los meses de octubre a diciembre de 2017. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones para cada tratamiento. Se contabilizó la cantidad de quistes, larvas y huevos por gramo de suelo para posteriormente determinar su viabilidad. Los datos generados se analizaron empleando un modelo lineal generalizado según el procedimiento Mixed en el software SAS® 9,4 y el rendimiento con una prueba t student. De acuerdo con los resultados, no se encontraron diferencias significativas entre el manejo convencional e integrado, lo que indicó un control semejante entre ambos tratamientos. Asimismo, no se encontraron diferencias en el rendimiento de los tratamientos. Por otra parte, los costos de producción fueron mayores en el manejo integrado por la alta aplicación del hongo *Trichoderma* sp. Bajo las condiciones experimentales no hubo diferencias estadísticamente significativas que indiquen que un manejo sea mejor o más efectivo que el otro, por lo cual el control de *G. pallida* en el cultivo de papa fue similar independientemente de si es integrado o químico. Es importante considerar que hay que disminuir o evitar el uso de químicos por las consecuencias negativas en el ambiente y la salud.

ABSTRACT

Globodera genus, commonly called potato's cyst nematode, it is one of the major crop pest throughout the World and Costa Rica is not the exception. The general objective of this study was to compare *Globodera pallida* population density on naturally infested plots of land using conventional techniques and integrated practice management. The study was carried out at the Estación Experimental Carlos Durán, which is located in Oreamuno de Cartago from October to December 2017. The experimental design used was randomized complete blocks with three repetitions for each treatment. It was posted a quantity of cysts, larvae, and eggs per gram of soil in order to determine its viability. Data generated were analyzed by using a generalized linear model according to Mixed through SAS® 9, 4 software the procedure and performance with a Student's t-test. Based on the obtained results, the data collected were not significant between conventional and integrated management which suggested a similar control between both treatments. In addition, no differences in treatments performance were found. On the other hand, the production costs were higher in the integrated management due to high concentration of *Trichoderma* sp. fungus. Under the given experimental conditions, there were no statistically significant differences that suggest that one management is better or more effective than the other one, for this reason the *G. pallida* control in potato cultivation can be done in the same way even if it is integrated or chemical. It is important to consider that the use of chemicals should be reduced or avoided due to the negative consequences on the environment and health.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. MARCO TEÓRICO	5
3.1. Origen y Distribución.....	5
3.2. Generalidades de <i>Globodera</i> spp.	5
3.3. Taxonomía.....	5
3.4. Biología del nematodo del quiste de la papa.....	6
3.5. Características morfológicas de <i>Globodera</i> spp.....	6
3.6. Ciclo biológico del nematodo	7
3.7. Diseminación.....	8
3.8. Sintomatología	8
3.9. Interacción con otros patógenos	9
3.10. Métodos de control.....	9
3.10.1. Control genético	9
3.10.2. Control biológico.....	9
3.10.3. Control cultural	10
3.10.4. El control químico.....	10
3.10.5. Manejo Integrado de Plagas (MIP)	11
3.10.6. Importancia económica de <i>Globodera</i>	11
4. METODOLOGÍA	12
4.1. Localización del experimento	12
4.2. Tratamientos.....	12

4.3. Diseño experimental.....	14
4.4. Variables evaluadas.....	15
4.5. Transporte de muestras.....	15
4.6. Metodología para la extracción de quistes	15
4.7. Metodología de viabilidad (extracción de larvas y huevos).....	17
4.8. Rendimiento	18
4.9. Costo económico para cada tratamiento.....	18
4.10. Análisis estadístico	18
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
5.1. Rendimiento del cultivo de papa.....	30
5.2. Costos totales de las dos parcelas del experimento	33
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
7. LITERATURA CITADA.....	39
8. ANEXO.....	47

LISTA DE TABLAS

Cuadro 1. Rendimientos dados para cada uno de los tratamientos, dividido de acuerdo a sus calidades recolectadas de papa variedad floresta dado en kilogramos. Estación Experimental Carlos Durán. Tierra Blanca en Cartago. 2017.....	33
Cuadro 2. Promedio de rendimiento (\pm error estándar) de la papa variedad floresta de acuerdo a su calidad y al tratamiento de manejo del nematodo <i>Globodera</i> spp. Estación Experimental Carlos Durán. Tierra Blanca en Cartago. 2017.....	34
Cuadro 3. Costos totales de las parcelas referentes al manejo convencional e integrado. Estación Experimental Carlos Durán. Tierra Blanca, Cartago, 2017.	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen de la ubicación del experimento. Estación Experimental Carlos Durán, Tierra Blanca de Cartago. 2018. Fuente: Google Earth, 2018.	13
Figura 2. Croquis del diseño experimental de bloques al azar utilizado en el ensayo. Estación Carlos Durán. Tierra Blanca. Cartago 2016.	15
Figura 3. Fenwick (A), Balones aforados, tamiz, pizeta y Papel filtro (B). San José, Costa Rica. 2015.	18
Figura 4. Homogenizador de quistes (A), Microscopio (B), Cámara de conteo (C).	19
Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre quistes de <i>G pallida</i> por gramo de suelo bajo manejo convencional e integrado Estación Carlos Durán. Tierra Blanca. Cartago 2016.	22
Figura 6. Efecto de los tratamientos sobre larvas de <i>G pallida</i> por gramo de suelo bajo manejo convencional e integrado Estación Carlos Durán. Tierra Blanca. Cartago 2016.	23
Figura 7. Rendimiento promedio de la cosecha de papa (kg) de acuerdo a su calidad y al tratamiento de manejo del nematodo <i>Globodera</i> spp. Estación Experimental Carlos Durán en Tierra Blanca en Cartago. 2017. Barras son errores estándar.	35

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis microbiológico realizado al suelo de la Estación Carlos Durán en Tierra Blanca de Cartago.	52
Anexo 2. Costos de producción del manejo convencional, precio periodo 2016.	53
Anexo 3. Costos de producción del manejo Integrado, precio periodo 2016.	54
Anexo 4. Costos de preparación del terreno para ambos tratamientos (Integrado y Convencional) con la hora paga al año 2016.	56
Anexo 5. Costos de mano de obra para el manejo convencional. Precios de jornal dados al año 2016.	56
Anexo 6. Costos de mano de obra para el manejo integrado. Precios de jornal dados al año 2016. .	56
Anexo 7. Medias y probabilidades de los muestreos de quistes.	57
Anexo 8. Medias y probabilidades de los muestreos dadas para larvas y huevos por gramo de suelo.	57

1. INTRODUCCIÓN

El género *Globodera* spp., es el nemátodo que mayor daño causa en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) a nivel mundial. Esta plaga se encuentra distribuida en distintas áreas geográficas al rededor del planeta y constantemente se descubren nuevos lugares en los que habita. Las pérdidas que ocasiona en cuanto a rendimiento productivo son estimadas en 36.7 millones de dólares, además de lo anterior se emplean 13.5 millones adicionales en el uso de nematicidas (Lord, Lazzeri, Atkinson, & Urwin, 2011). Sumado a lo anterior, este nematodo provoca grandes daños al tubérculo en los países donde se encuentra. Se estima que las pérdidas en los cultivos al alrededor del mundo sobrepasan los 100 millones de dólares (Barría, 2010).

Posee una amplia distribución donde se reporta principalmente asociado al cultivo de la papa en todos los continentes exceptuando únicamente la Antártida (SENASICA Laboratorio Nacional de referencia Epidemiológica Sanitaria, 2013). El centro de origen de *Globodera* se encuentra en las montañas de los Andes en América del Sur, de allí fue introducido a Europa en el siglo XIX por medio del cultivo de papa. Este nematodo pertenece a la familia Heteroderidae, la cual posee dos especies principales, *G. rostochiensis* y *G. pallida* (DGSV-CNRF, 2011). En Centroamérica, los primeros reportes de la presencia de *G. pallida* se dieron en 1967 en Panamá, donde se diseminó rápidamente y ocasionó problemas severos en el cultivo de papa (Servicio Fitosanitario del Estado, 2015).

En Costa Rica, el primer registro de *Globodera* fue en 1973, cuando Ramírez y Bianchini, indicaron la presencia de *G. rostochiensis* en 18 fincas ubicadas en Cartago entre los años 1972 y 1974. Sin embargo, en los siguientes años no se logró determinar su presencia y las pruebas de patogenicidad en dos variedades de papa fueron negativas (Humphreys, 2006). La plaga fue confirmada hasta enero del año 2005, en una investigación realizada por el Laboratorio de Nematología de la Universidad de Costa Rica, en una finca cultivada con la variedad Floresta, ubicada en las cercanías del volcán Irazú (Coto, 2005).

Las zonas hortícolas de Cartago y Zarcero, por ser los sitios con más producción de papa en nuestro país y con mayor área sembrada, poseen una considerable incidencia de nematodos

fitoparásitos, principalmente del género *Globodera* (Servicio Fitosanitario del Estado, 2015). Los síntomas que causa la plaga en el cultivo son muy comunes, además de que también se manifiestan en otras enfermedades y con otro tipo de plagas, lo que en muchas ocasiones se tiende a confundir y se hace más complicada su identificación. En el campo se puede detectar como síntomas, plantas cloróticas, de aspecto débil y cultivares con poco follaje (Coto, 2005).

Adicionalmente, estos nematodos forman quistes en las raíces que posteriormente se necrosan y favorecen la entrada de otros patógenos como el hongo *Rhizoctonia solani*. Las plantas afectadas sufren también de reducción en la producción y por ende bajos rendimientos, razón por la cual causa una disminución considerable de producción de las parcelas y fincas de los productores. Asimismo, este nematodo se encuentra catalogado en el archivo de la Organización Europea y Mediterránea para la Protección Vegetal como plaga cuarentenaria, por las pérdidas millonarias que provoca a nivel mundial. Los daños que ocasiona este fitoparásito no solo afecta la calidad, sino también la cantidad de los tubérculos, ya que produce pérdidas mayores al 12% del promedio mundial (A. C. García, 2006). Por lo anterior, en las fincas donde esté presente, no es permitido comercializar la semilla, con el fin de evitar su diseminación (SFE 2005; Mai *et al.*, 1980).

El nematodo se puede extender de manera pasiva por medio de suelo adherido en la maquinaria agrícola y en los tubérculos cosechados. También se disemina por los remanentes de suelo cuando se limpian los tubérculos en las plantas recolectoras, los cuales pueden ser transportados a otros sitios (Ebrahimi, Viaene, Aerts, Debode, & Moens, 2016). Otras causas de contaminación se dan por las prácticas inadecuadas de manejo, como la comercialización de semilla no certificada entre las mismas fincas, así como el mal manejo en cuanto a: aguas, suelo, cosechas, mal lavado de los tubérculos, la limpieza del equipo y herramientas de trabajo (Piedra, 2012).

Existen diferentes métodos de combate que evitan el aumento en las poblaciones de nematodos, entre ellas están: la rotación de cultivos, el control genético, controles culturales como recolección de rastros, aplicación de hongos antagónicos como *Trichoderma* sp., utilización de plantas alelopáticas, biofumigantes, incorporación de enmiendas orgánicas y en el uso de nematicidas químicos, entre otros. Actualmente, existe una tendencia de reemplazar los métodos químicos por los alternativos debido a la gran contaminación y la necesidad que existe por la conservación de la naturaleza (Lord *et al.*, 2011). Los productores no toman medidas para evitar la diseminación de la plaga en sus fincas, esto provoca que las casas comerciales impulsen el uso de

grandes volúmenes de nematicidas químicos sin conocer su eficacia contra la plaga, lo cual genera contaminación ambiental y un incremento de los costos de producción (Franco *et al.*, 1993).

Varios estudios indican que la incorporación de enmiendas orgánicas en los suelos infestados con nematodos, afecta la dinámica de los patógenos por la incorporación de organismos antagonistas y por los efectos tóxicos que poseen algunos de estos compuestos durante la descomposición (Termorshuizen, Korthals, & Thoden, 2011). En un estudio realizado en Ecuador se utilizó un manejo integrado de plagas (variedades tolerantes, terreno en descanso, etc.) y se redujo el 45,5% de la población del nematodo *G. pallida* (Rivera, 2009).

Actualmente existe la responsabilidad de comparar métodos convencionales con métodos de manejo integrado de plagas, en este caso contra el nematodo del quiste de la papa. De esta manera, se puede contribuir con información sobre la efectividad de las técnicas de combate (disminución de la población del nematodo), la productividad del cultivo y el costo económico de su implementación. En el año 2016, se utilizaron en el cultivo de papa en Costa Rica un total de 97.979 toneladas, en un área sembrada de más de 360 hectáreas. Las importaciones para el año 2016 no superaron el 3,12%. Por lo anterior se observa que este cultivo tiene gran demanda en nuestro país, además de que prácticamente el país se autoabastece (SIA y CNP 2017).

Por lo mencionado anteriormente, surge la necesidad de buscar una manera efectiva en el manejo de este nematodo, en se incrementen los rendimientos y se disminuyan costos en este producto. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar las prácticas del manejo integrado y el convencional de *G. pallida* en el cultivo de la papa en la Estación Carlos Durán en Tierra Blanca de Cartago.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Evaluar el efecto de prácticas de manejo convencional y prácticas de manejo integrado de plagas sobre la densidad poblacional de *G. pallida*. en parcelas infestadas.

2.2. Objetivos Específicos

- Comparar el efecto del manejo convencional e integrado sobre la población de quistes de *Globodera* spp.
- Determinar el efecto del manejo convencional e integrado sobre la cantidad de larvas y huevos por quiste y por gramo de suelo de *Globodera* spp
- Evaluar el rendimiento del cultivo de papa variedad Floresta, utilizando métodos de combate (convencional e integrado) contra *Globodera* spp.
- Analizar el costo económico de la implementación de cada una de las prácticas de combate evaluadas (convencional e integrado) de *Globodera* spp.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Origen y Distribución

Los nematodos *G. pallida* y *G. rostochiensis* son originarios de América del Sur, específicamente en las montañas de los Andes. La plaga fue llevada de Perú hasta Alemania, en conjunto con un material genético y a partir de este país fue distribuido al resto de Europa (Vilca, 2013). Posteriormente, se extendió con el cultivo a otras áreas, donde abarcó zonas templadas y tropicales. En todas ellas, la distribución está relacionada con el cultivo de papa (DGSV-CNRF, 2011). Esta plaga se encuentra en la mayor parte de los países ubicados en el hemisferio norte y en el centro de Europa, también se encuentra en Sudamérica, Centro América y México, en menor medida en los países del sur de Europa (Vilca, 2013).

3.2. Generalidades de *Globodera* spp.

Es un nematodo que se caracteriza por la formación de quistes en las raíces de las plantas, principalmente en el cultivo de la papa (*S. tuberosum*). También ataca otras solanáceas como tomate (*Solanum lycopersicum*), berenjena (*Solanum melongena*) las cuales podrían eventualmente actuar como hospederas (Barría, 2010).

3.3. Taxonomía

El nematodo fitoparásito *Globodera* sp. se clasifica taxonómicamente según Siddiqi, (2000) de la siguiente manera:

Phylum Nematoda

Clase Secernentea

Orden Tylenchida

Familia Heteroderidae

Género *Globodera*

Fuente: (DGSV-CNRF, 2011).

3.4. Biología del nematodo del quiste de la papa

Los nematodos del género *Globodera* son endoparásitos sedentarios que permanecen normalmente en el suelo por cinco o seis años, aunque pueden llegar a persistir hasta por veinte años. Después de la plantación, los nematodos se adhieren a las raíces de la planta hospedante, donde producto de la producción de exudados radicales por parte de la planta estimulan la eclosión de los huevos, de los cuales emergen los juveniles de segundo estado. A partir de la época de floración, se pueden observar a simple vista los quistes (Ortega, 2008).

Los quistes contienen huevos y juveniles que en presencia de algún estimulante eclosionan y penetran las raíces. Estas larvas migran al cilindro vascular y se sitúan en el tejido radical donde sufren varias mudas y se produce la diferenciación sexual. Los machos salen de la raíz y fecundan a las hembras que permanecen con medio cuerpo dentro de la raíz para alimentarse y la otra mitad fuera. Al final del cultivo, la hembra se transforma en quiste que protege a los huevos y los mantiene en el suelo durante el tiempo necesario hasta encontrar un nuevo cultivo de papa (Ortega, 2008).

3.5. Características morfológicas de *Globodera* spp.

Las hembras pertenecientes a este género poseen una forma esférica, sin cono terminal, miden entre 500- 600 μm , a pesar de esto el tamaño se puede ver afectado por el hospedante y por la población que exista en el hospedante. Cuanta mayor cantidad de nematodos haya, menor es su tamaño. La cutícula es delgada con líneas superficiales que forman un patrón reticular; además, poseen una vulva terminal y los huevos producidos se mantienen dentro de la hembra. El macho es móvil y vermiforme (forma de gusano), tienen campos laterales de cuatro líneas que miden aproximadamente 1200 μm de largo y 28 μm de ancho. La forma de los quistes en las especies de *Globodera* es variada, pueden ser redondeados, ovoides, esféricos o en forma de pera (Humphreys, 2006).

Los juveniles de segundo estado poseen un estilete menor a 30 μm , el cual cubre el ancho de la cavidad bucal; su cola es cónica, puntiaguda, con la mitad de su parte terminal hialina. Presentan fasmidios (órganos sensoriales), dispuestos en una capa muscular, por lo que se les considera puntiformes (Humphreys, 2006).

3.6. Ciclo biológico del nematodo

El ciclo de vida de *Globodera* spp. consta de cuatro estadios antes de ser adulto en forma similar a otros nematodos. El primer estadio larval se desarrolla en el huevo y ocurre la primera muda dentro de la membrana ovular de la cual nace el segundo estadio larval, que emerge libremente en el suelo y luego penetra en los tejidos vegetales. Este estadio se considera el infectivo y usualmente se encuentra dentro de los quistes maduros. Atraídos por exudados radiculares, los nematodos en el segundo estadio juvenil punzan las raíces, penetran, se establecen en ellas y se alimentan durante dos mudas o cambios adicionales. En ausencia de hospedante solo emergen algunas larvas que posteriormente mueren. En el tercer estadio se hace cilindroide, durante este periodo desarrolla el primordio genital, aun cuando los sexos no pueden ser diferenciados. El sexo parece depender de las condiciones ambientales, reacciones químicas del hospedante, calidad de alimento y la densidad de población (Piedra, 2012). En la fase número tres se empiezan a formar los órganos reproductores de los nematodos (Ruano, 1999).

El macho se alarga y se repliega sobre sí mismo dentro de la cutícula. Posteriormente, en la cuarta muda, este estadio se transforma en un gusano alargado y delgado, abandona la raíz y pasa a la rizosfera, lugar donde localiza a las hembras para fecundarlas y finalmente concluida la copulación el macho muere. Por otro lado, la hembra al madurar adquiere una forma globosa y rompe el tejido de la raíz, por lo que sale de esta casi la totalidad del cuerpo y fija únicamente el cuello a la raíz. La hembra en su interior contiene huevos que son depositados en una masa gelatinosa. Algunos huevos se desarrollan inmediatamente y producen larvas que salen para buscar nuevas raíces (Ruano, 1999).

El género *Globodera* presenta un dimorfismo sexual sumamente marcado, el segundo estado larval es móvil además de vermiforme, en el tercer y cuarto estado juvenil sumado a las hembras adultas se mantienen inmóviles y globosas. La hembra una vez adulta muere y adquiere un color castaño oscuro, rígido con una cutícula gruesa para proteger a los huevos en su interior. Cada quiste puede tener entre 500 a 1000 huevos viables y pueden permanecer como se mencionó anteriormente, por un largo periodo de tiempo, inclusive hasta por más de veinte años (Núñez, 2002).

El nematodo, para cumplir una generación completa, desde la penetración del juvenil de segundo estado hasta la formación de quistes con huevos, tarda aproximadamente cuarenta y cinco a sesenta días y depende de las condiciones ambientales que se presenten. Las temperaturas más favorables para su desarrollo están entre los 20-25°C y es necesario que el suelo presente un pH entre 2,6 y 4,0 (Piedra, 2012).

3.7. Diseminación

La diseminación de los estadios juveniles es baja y se limita principalmente a las raíces de la planta hospedera. La aparición de un quiste de un lugar a otro o a largas distancias se da con el movimiento del suelo, que puede estar asociado con el traslado de las semillas de papa, herramientas, equipo, maquinaria agrícola, entre otros. De acuerdo con Martínez (2011), el modo más común de dispersión de los nematodos es el movimiento de semilla de papa de una finca a otra.

3.8. Sintomatología

El nematodo produce los síntomas tanto en las raíces como en los órganos aéreos de las plantas. Los indicios de daño en la raíz aparecen en forma de nudos, agallas o lesiones en ella, ramificación excesiva, puntas dañadas y pudriciones de la raíz cuando las infecciones están acompañadas por bacterias y hongos patógenos. (M. Martínez & Aría, 2011). Con frecuencia, las señales mencionadas están acompañadas por otros no característicos en los órganos aéreos de las plantas y que se manifiestan como menor crecimiento, deficiencia de nutrientes como la clorosis, marchitamiento excesivo y menor producción (ALAP, 2014). La mayoría de los daños causados por los nematodos parecen ser ocasionados por una secreción de saliva que el nematodo inyecta a la planta para alimentarse (M. Martínez & Aría, 2011).

La presencia de nematodos en el cultivo de papa no es sencilla de identificar, ya que se deben observar diferentes síntomas como, por ejemplo: cultivares cloróticos y de aspecto débil, disminución en la producción, además de plantas con poco follaje en comparación con plantas sanas. Dichos detrimentos se tienden a confundir con la deficiencia de agua o de nutrientes. En el momento de la extracción del tubérculo se pueden observar los quistes que aún no han madurado como pequeñas esferas con un color blancuzco (*G. pallida*), o un color morado oscuro (*G. rostochiensis*) según la especie (Coto, 2005).

3.9. Interacción con otros patógenos

El ataque de estos nematodos a las raíces del cultivo puede favorecer las infecciones en las plantas como la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum* Smith) y la marchitez por *Verticillium dahliae* Klep y *R. solani*. Se trata de asociaciones o complejos en los cuales los daños producidos son más graves que los ocasionados por el patógeno por sí solo (Ortega, 2008).

3.10. Métodos de control

3.10.1. Control genético

Es el uso de variedades de plantas resistentes a nematodos. Las primeras fuentes de resistencia se identificaron a partir del material existente en la Commonwealth Potato Collection (CPC). Entre las variedades resistentes se mencionan cinco clones triploides, entre ellos *S. tuberosum* spp. *Andigena*. Este clon fue utilizado como progenitor resistente ya que se creía que podía ser útil para el control de todas las poblaciones del nematodo. Sin embargo, en distintas partes del mundo se reportaron poblaciones que se multiplicaban fácilmente en líneas de este clon (SENASICA Laboratorio Nacional de referencia Epidemiológica Sanitaria, 2013).

3.10.2. Control biológico

Se basa principalmente, en la utilización de microorganismos como bacterias y hongos nematófagos o antagonistas. Se debe tener en cuenta que los hongos nematófagos nativos se ven afectados por el uso excesivo de plaguicidas y por el uso intensivo del suelo. Hongos como *Arthrobotrys conoides*, *Purpureocillium lilacinus*, *Pochonia chlamydosporium* son utilizados para el control de diferentes nematodos; no obstante, no han tenido el éxito esperado en el nematodo del género *Globodera*. En Perú, por ejemplo, se encontraron quistes parasitados con el hongo *P. lilacinus*; en México, con los hongos *Acremonium incrustatum*, *Cadophora malorum*. Además, en ese mismo país se aislaron juveniles J₂ con la presencia de *P. lilacinus*. Para dicho estudio se redujo las poblaciones del nematodo del quiste de la papa hasta en un 37% con la utilización de *P. lilacinus* (Landaverde, 2012).

3.10.3. Control cultural

Para reducir la población de terrenos que están infestados, se establecen cultivos no hospedantes. Factores como: los cultivos utilizados para este control, la densidad de población del nematodo, factores relacionados con el suelo, afectan el ritmo de disminución (SENASICA Laboratorio Nacional de referencia Epidemiológica Sanitaria, 2013).

Las plantas de la familia *brassicaceae* están reportadas como supresores de patógenos del suelo, incluidos los nematodos fitoparásitos. Además, cuando se utilizan enmiendas orgánicas y se incorporan las plantas crucíferas para eliminar estos patógenos se denomina biofumigación. El efecto de estos biofumigantes se obtiene de isotiocianatos (una forma hidrolizada de glucocinolatos). Los isotiocianatos poseen una alta actividad pesticida contra malezas, bacterias, hongos y nematodos (Umamaheswari, Bairwa, Venkatasalam, Sudha, & Singh, 2015).

3.10.4. El control químico

Este método de control es uno de los más utilizados, los nematicidas no fumigantes son utilizados en pequeñas cantidades y no persisten mucho tiempo en el suelo. Los organofosforados y oximecarbamatos son muy efectivos. El efecto que tienen estos en el nematodo consiste en paralizar antes de matar, a menos que se usen en dosis altas. Los organofosforados ofrecen buen control, pero necesitan ser incorporados al suelo (SENASICA Laboratorio Nacional de referencia Epidemiológica Sanitaria, 2013).

A pesar de ser el método de mayor uso en la actualidad, la utilización de estos productos no es del todo efectiva. Los productos químicos se aplican al momento de la siembra, que es cuando la mayoría de los nematodos en estado J₂ eclosionan y el ingrediente activo de los agroquímicos se encuentra en concentraciones no letales para estos organismos. Por esta razón es que la densidad del nematodo se incrementa en cada ciclo de cultivo (Landaverde, 2012).

3.10.5. Manejo Integrado de Plagas (MIP)

Este tipo de control consiste en atacar a las plagas desde un punto de vista de sistemas ecológicos, debido a que estas no se encuentran solas en el campo, sino que conviven con millones de organismos y, por eso, es un error no tomar en cuenta el entorno y todas las formas de vida con que se desarrollan. En los sistemas agrícolas se encuentra un sin número de bacterias, insectos, ácaros, hongos y virus que podrían ser enemigos del nematodo y es posible utilizarlos para manejar estos organismos dañinos adecuadamente. La finalidad del MIP es favorecer el ecosistema para que los organismos antes mencionados luchen contra la plaga, basándose en prácticas culturales, características de tolerancia o resistencia de las plantas al ataque del organismo patógeno. El control biológico tiene el objetivo de reforzar la acción de los depredadores presentes en el campo y entre los agentes más utilizados se encuentran los parasitoides, bacterias, hongos, depredadores, entre otros, también los métodos de interferencia como las feromonas y repelentes naturales, entre otros (DGSV-CNRF, 2004).

3.10.6. Importancia económica de *Globodera*

Los daños que causa esta plaga son considerados como graves y afectan la relación del peso de los tubérculos producidos, por lo que está estrechamente relacionado con el número de nematodos en tierra (Barría, 2010).

Se calcula que 20 huevos/g de suelo son suficientes para producir un desperdicio de alrededor de 2t/ha de papa. El 80% de la cosecha no se llega a aprovechar cuando las poblaciones de la plaga son muy altas. Por ejemplo, en el Reino Unido aproximadamente el 9% de las cosechas se desaprovechan anualmente. En Bielorrusia, la reducción en los rendimientos en variedades susceptibles con poblaciones muy altas de la plaga llegó hasta un 74% de la producción. Se estima que este nematodo causa pérdidas de 10 millones de dólares en cultivos cada año solamente en Estados Unidos y 100 millones de dólares a nivel mundial (Barría, 2010).

4. METODOLOGÍA

4.1. Localización del experimento

El estudio se realizó en la Estación Experimental Carlos Durán durante los meses de octubre a diciembre de 2017 (Figura 1). Las coordenadas para el área de estudio fueron latitud: N 09° 55' 08" y longitud: O 83° 52'43". El área del experimento se clasificó como subtropical húmeda, tiene una altura de 2335m.s.n.m. Los suelos son andisoles, posee una temperatura promedio de 17°C, un promedio de lluvias es de 2600 mm anuales y pertenece al bosque muy húmedo montano (Tencio, 2013, y Quesada, 2007).

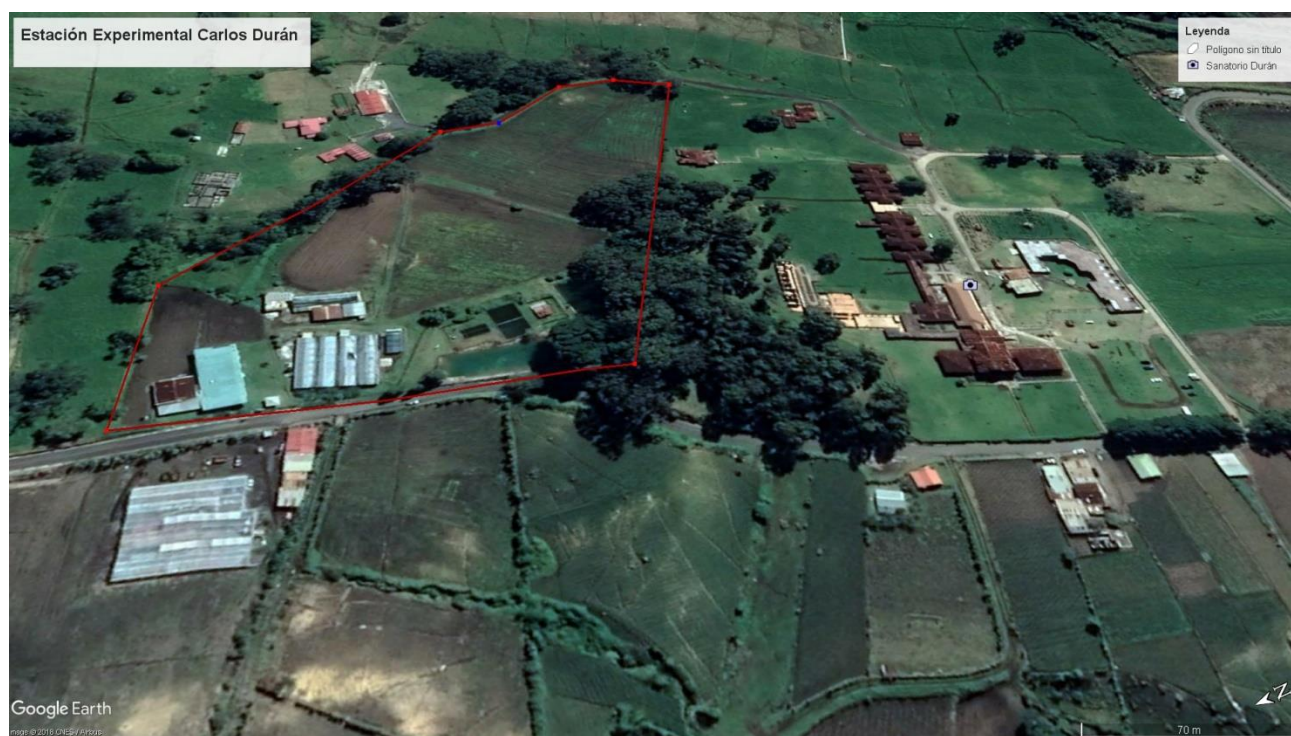


Figura 1. Imagen de la ubicación del experimento. Estación Experimental Carlos Durán, Tierra Blanca de Cartago. 2018. Fuente: Google Earth, 2018.

4.2. Tratamientos

Los tratamientos o sistemas de combate del nematodo del quiste de la papa (*G. pallida*.) evaluados fueron:

- 1) **Manejo tradicional** de combate del nematodo *Globodera* que consistió en la aplicación del nematicida químico carbamato a la siembra y al momento de la aporca (veintidós días

después de la siembra). No se recolectó aporco, lo que quiere decir que se dejaron los remanentes de papa cuando finalizó la cosecha con el fin de simular el manejo que realizan los agricultores de la zona.

- 2) **Manejo integrado** de combate del nematodo *Globodera* basado en la aplicación de la cepa INTA H4 hongo de *Trichoderma* sp. y la recolección del aporco (rastros de papa). La aplicación del hongo se realizó en tres momentos del ciclo del cultivo: a la siembra, a los 22 días de la siembra y una vez terminada la cosecha. La cepa de *Trichoderma* sp. INTA H4 fue utilizada en estudios previos anteriormente para el control del nematodo del quiste de la papa.

La siembra de ambos tratamientos se realizó a los 18 días del mes de octubre del año 2016. Posteriormente, se aplicó el hongo a una concentración de $8,4 \times 10^6$ conidios por mililitro en el integrado y el nematicida benfuracarb (Oncol 40 EC) al momento de la siembra a una dosis de 1,75 L/ha por ha, es decir, a una cantidad de 0,0315 litros en los 180m^2 . Luego, la segunda aplicación del manejo integrado se llevó a cabo 22 días después, con una concentración de $2,0 \times 10^7$ conidios por mililitro de agua. La última aplicación de *Trichoderma* sp. se dio en el mes de diciembre, y para finalizar la segunda aplicación del químico, se realizó al momento de la aporca de la papa, con la misma dosis aplicada la primera vez.

La temperatura en la que se realizó el ensayo varió de 7 a 25°C , ideales para el cultivo papa. Por otra parte, no se presentaron periodos de estrés hídrico debido a que la zona tiene una estación lluviosa que va de mayo a enero (Áviles y Piedra, 2016).

En ambos tratamientos se usó la variedad Floresta y la fertilización se realizó de acuerdo con los análisis de fertilidad previos realizados en la parcela. La primera fertilización se realizó alta en fósforo con 10-30-10 y la segunda fertilización se efectuó al momento de la aporca con la fórmula 20-20-20. El control de plagas y enfermedades se realizó de manera convencional como lo ejecutan los productores normalmente con la aplicación del fungicida Tolclofos-metil (Rizolex 50 WP), en ambos tratamientos para el control de enfermedades como *Fusarium* sp.

4.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con tres repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en una parcela sembrada con la variedad de papa Floresta (Figura 2). El área de cada parcela fue de 60 m², la distancia entre surcos fue de 0,85 m, la distancia entre planta fue de 0,25 m. Cada parcela constó de 35 plantas y 6 surcos con 6 plantas, de los cuales los 2 centrales fueron utilizados para el ensayo para un total de 12 plantas útiles. La parcela posee un historial de presencia de nematodos del género *Globodera* con siembras sucesivas del cultivo de papa, consideradas con infestación o inóculo inicial. En cada unidad experimental se realizaron mediciones repetidas en el tiempo (muestreos), para un total de seis muestreos

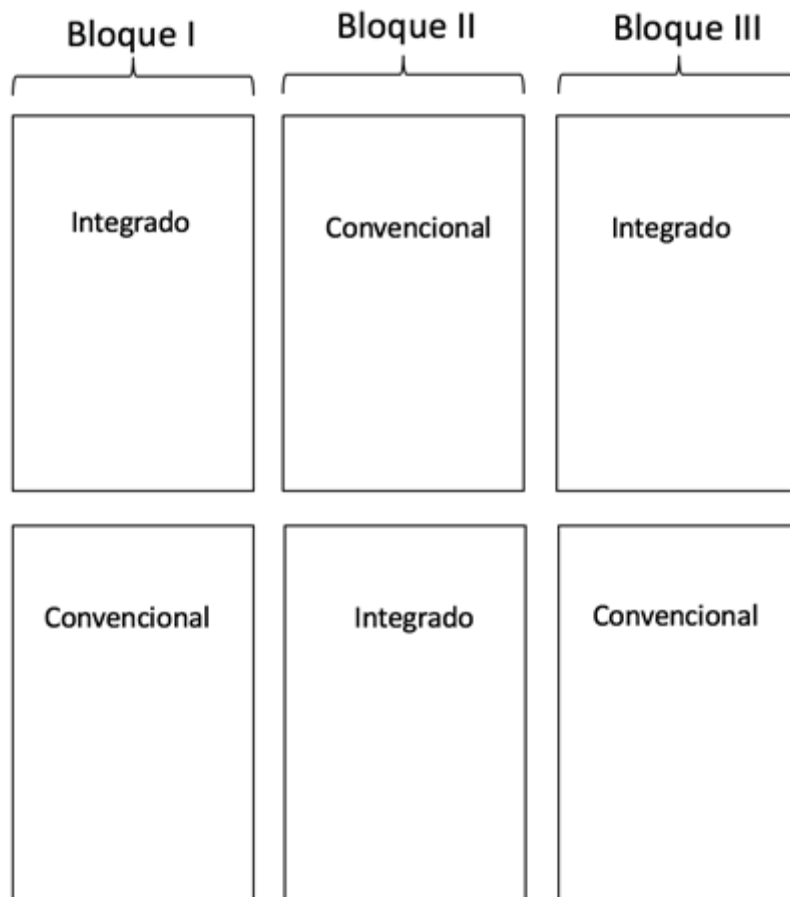


Figura 2. Croquis del diseño experimental de bloques al azar utilizado en el ensayo. Estación Carlos Durán. Tierra Blanca. Cartago 2016.

4.4. Variables evaluadas

Se realizaron seis muestreos de suelo para evaluar la población de quistes en 250 g de suelo. El primero se realizó en el mes de setiembre del 2016, un mes antes de la siembra, con el objetivo de conocer la cantidad inicial del nematodo. El segundo muestreo se realizó posterior a la siembra el 21 de octubre, el tercero se llevó a cabo el 23 de noviembre, el cuarto el 16 de diciembre. Posteriormente, se realizaron dos muestreos más, uno el 16 enero del 2017 y el último el 21 de febrero, es decir, un mes después de la cosecha.

Para la obtención tanto del muestreo inicial, así como de cada mes de la población de quistes, se utilizó la siguiente metodología de muestreo: Los puntos de muestreo se seleccionaron en cada una de las fechas de manera aleatoria en un recorrido en forma de zigzag en el área de la unidad experimental. En cada punto se tomó suelo a una profundidad de entre 15 a 25 cm de la superficie del suelo, con el objetivo de recolectar submuestras de al menos 10 puntos. Posteriormente, el suelo se mezcló y cuarteó para una muestra final de 1 kg por unidad experimental. De esta forma se tomó una muestra de suelo cada mes durante seis meses, para un total de treinta y seis muestras producto de las seis parcelas. Cabe mencionar que con cada una de las muestras se realizaron las evaluaciones de quistes, larvas y huevos por gramo de suelo.

4.5. Transporte de muestras

Una vez recolectadas las muestras se procedió a colocarlas en bolsas plásticas debidamente etiquetadas con el número de parcela, lugar de colecta, la fecha, el cultivo y también el nombre de recolector. Las muestras se almacenaron en una hielera para conservar la humedad y para evitar cambios bruscos de temperatura.

4.6. Metodología para la extracción de quistes

Asimismo, las muestras se procesaron posteriormente a su recolecta, con el propósito de evitar sesgos en los resultados del análisis. Dichos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Nematología del INTA, en Sabana Sur, San José.

Para la extracción de quistes de suelo se utilizó el sistema de Fenwick modificado (Fenwick, 1951, Oostenbrink, 1950). Este método consistió en un embudo colocado sobre un recipiente, el cual en su parte ensanchada tiene un tamiz con poros de 1 mm de diámetro donde se deposita una muestra de

250 g de suelo. El instrumento es de forma trapezoidal en su parte inferior y en la parte superior presenta tres soportes donde se coloca el embudo. Además, presenta una aleta inclinada que bordea el recipiente como collar, y finaliza en un solo conducto (Figura 3 A). La muestra, al caer al depósito inferior del instrumento, hace que los residuos orgánicos se precipiten al fondo y la materia más liviana flote y sea recogida por un tamiz de 100 mesh (abertura de 0,038 mm y un diámetro de 0,035 mm).

Los residuos de suelo y quistes fueron recogidos en un tamiz de 100 mesh que posteriormente se transfirieron a un balón aforado de 250 ml y se completó hasta la mitad con agua. Se agitó y se mezcló la muestra, después se llenó el balón por completo con agua. Se dejó en reposo un minuto para que los quistes flotaran y el resto de materia orgánica se precipitara. Luego, los quistes se recogieron sobre un papel filtro que se colocó previamente en el embudo de manera que, mientras se rotó el balón, el material orgánico no pasara al filtro (Figura 3 B). La muestra se secó a temperatura ambiente entre 24 y 25 °C posteriormente se extrajeron los quistes y se realizó el conteo de estos.



Figura 3. Fenwick (A), balones aforados, tamiz, pizeta y papel filtro (B). San José, Costa Rica. 2016.

4.7. Metodología de viabilidad (extracción de larvas y huevos)

Con los quistes extraídos se realizó una prueba de viabilidad. Esta consistió en la obtención del promedio de huevos y larvas por quiste. Se tomaron 25 quistes los cuales se trituraron con un homogenizador (Figura 4 A). Posteriormente triturados, estos se colocaron en 50 ml de agua y con una pipeta, se tomaron 2 ml los cuales se colocaron en una cámara de conteo (Figura 4 B) donde, finalmente, se observaron con el microscopio (Figura 4 C). Este procedimiento se realizó en tres ocasiones para luego obtener un promedio de las tres alícuotas de la cantidad de huevos así como de juveniles y mediante el siguiente cálculo matemático, se determinó la viabilidad de quistes:

$$\underline{VT = \text{Prom. 2 ml} \times \text{Vol.H}_2\text{O:}}$$

Q

Dónde:

VT= Viabilidad Total

Prom= Promedio de 3 alícuotas

Q= Número de quiste

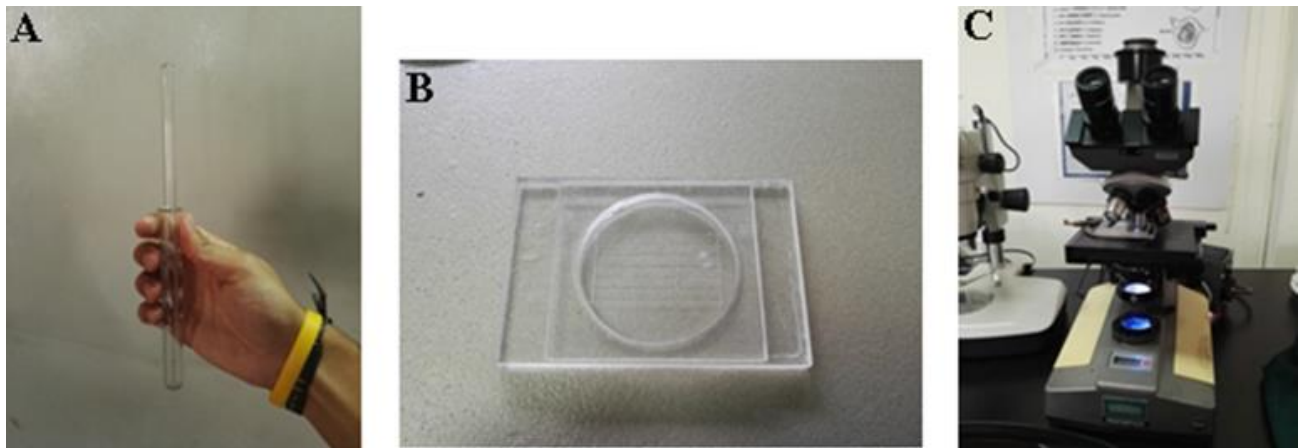


Figura 4. Homogenizador de quistes (A), cámara de conteo (B), microscopio (C). San José, Costa Rica. 2016.

Los valores del muestreo inicial (al momento de la siembra) y final (último muestreo), en los tratamientos fueron utilizados para establecer la tasa de multiplicación (P_f/P_i) mediante la siguiente fórmula:

TM = Población final de nematodos o quistes/Población inicial de nematodos o quistes. Si el valor obtenido es <1 se asume que la población de nematodos disminuye, por el contrario, si el valor es >1, la población de nematodos aumenta.

4.8. Rendimiento

Para el cálculo de rendimiento, se cosechó de manera separada los tubérculos producidos en el manejo integrado y el manejo convencional. Los kilogramos de papa obtenida fueron clasificados en tres calidades (comercial, no comercial y desecho) de acuerdo con variables cualitativas de tamaño, color y forma. Posterior a la cosecha, se procedió a pesar y apuntar cada uno de los valores obtenidos, para calcular los promedios para cada una de las clasificaciones y tratamientos.

4.9. Costo económico para cada tratamiento.

Se realizó el cálculo del costo económico en función de la preparación del terreno, mano de obra y producción. Asimismo, se contemplaron rubros como precio de enmiendas, fertilizantes, herbicidas, fungicidas y demás productos aplicados. Para calcular el costo económico por tratamiento, se elaboró una plantilla en Excel® con cada uno de los gastos incurridos durante el ensayo.

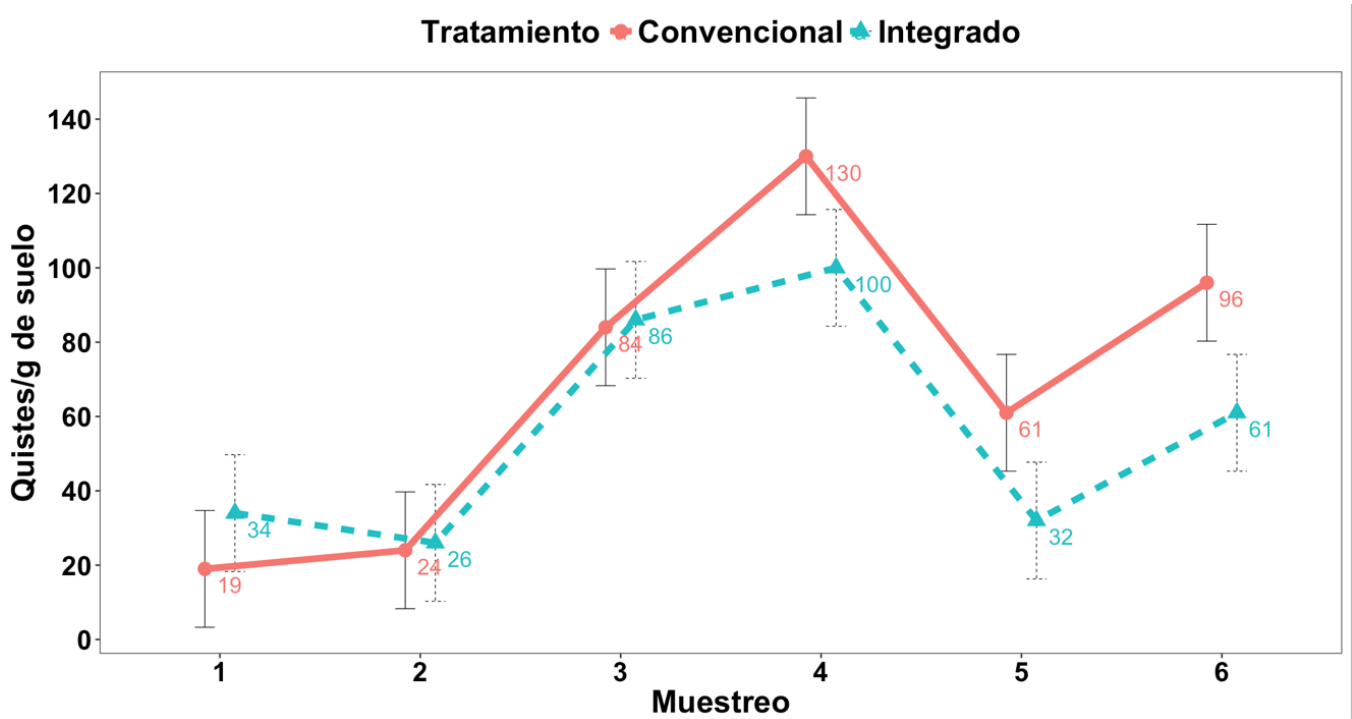
4.10. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de mediciones repetidas en el tiempo (muestreos) para las variables quistes y larvas de *G pallida.*, mediante el procedimiento Mixed de SAS® 9.4. El rendimiento del cultivo de papa se dividió según las calidades (comercial, no comercial y desecho) y, para cada una de las calidades, se realizó un análisis de varianza para determinar diferencias entre los dos manejos (convencional e integrado).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico realizado, tanto para el tratamiento convencional como en el integrado, evidenció un efecto similar ($P= 0.1702$) sobre la cantidad de quistes en 250 g de suelo. No se encontraron diferencias significativas ($P= 0.4399$) en la interacción de los tratamientos por muestreo, por lo que, a lo largo del periodo del experimento y en los seis muestreos realizados, ambos tratamientos evaluados proporcionaron resultados muy semejantes (Figura 5).

Sin embargo, al examinar los resultados de manera separada durante el periodo en que se extendió el proyecto, la cantidad de quistes varió según la fecha de muestreo entre las mismas repeticiones. Los muestreos 3 y 4, por ejemplo, presentaron los valores más altos de quistes, sin diferir entre sí en ninguno de los dos muestreos, con cifras para el manejo integrado de 86,33 y 99,6, mientras que para el manejo convencional los resultados fueron de 84,33 y 130,0 respectivamente, como se puede apreciar en el Anexo 7, en el cual superan para ambos tratamientos los 84 quistes, lo anterior en 250 g de suelo.



Por otra parte, los resultados con menor cantidad de quistes se presentaron en los muestreos 1 y 2 para ambos tratamientos, en los cuales, también existió gran similitud y no difirieron entre sí.

En el caso del manejo integrado (Anexo 8) se presentaron 34,3 y 26,3 quistes por gramo de suelo, mientras que en el convencional se encontraron 18,67 y 24,33 respectivamente. Pero, al observar los datos comentados, entre los muestreos 1, 2 y 3, 4 si existen diferencias significativas entre las mismas repeticiones de un tratamiento por el tiempo transcurrido.

Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre quistes de *G pallida* por gramo de suelo bajo manejo convencional e integrado Estación Carlos Durán. Tierra Blanca. Cartago 2017.

Los datos descritos se relacionan directamente con el ciclo de vida que posee la plaga, debido a que en los primeros muestreos hay una cantidad menor de nematodos y conforme las fases fenológicas de la planta avanzan, así también lo hace la población de quistes. Ante esto, Silva (2018) señala que el ciclo completo del nematodo puede llegar a los 65 días (8 semanas), los 60 días posteriores a la siembra corresponden a un aproximado del tope poblacional, en el cual el presente estudio evidenció un aumento en la cantidad de quistes en el último muestreo realizado (6), precisamente dos meses después del pico más alto, lo que indica que se pudo haber dado una nueva generación de *G pallida*.

Igualmente, se apreció cómo a partir del segundo muestreo (que fue donde se realizó la siembra) la cantidad de quistes aumentó, en comparación con el primero y en relación con el desarrollo del cultivo. De acuerdo con Cañón y Sanabria (2017), este comportamiento se da principalmente por el estímulo que el estadio J₂ adquiere gracias a los exudados radicales que la planta expulsa y que inducen al nematodo a alimentarse. Entre los exudados radicales de *S. tuberosum* se encuentra el glicoalcaloide solanina, el cual es el encargado de generar los cambios fisiológicos en el quiste para que eclosione (Robertson & Bello, 2009). Este estimulante posee la capacidad de promover cambios en el estadio J₂ asociados directamente a modificaciones en la estructura de las glándulas esofágicas y en la expresión genética, que preparan al nematodo para parasitar las plantas (Robertson y Bello, 2009).

Por otro lado, resultados similares a los conseguidos con la cantidad de quistes se encontraron con respecto a las larvas y huevos de *Globodera* por gramo de suelo, donde la interacción a nivel general de tratamientos por muestreo no fue significativa, como tampoco entre el

sistema convencional e integrado (Figura 6). Sin embargo, las larvas y huevos de *Globodera* sí variaron según la fecha en la que se recolectaron las muestras. Se observó que en el muestreo 4, tanto para el manejo integrado como para el convencional, presentaron la mayor cantidad de larvas y huevos por gramo de suelo, con un total de 80 y 83 respectivamente (Anexo 5). En lo que respecta al muestreo 3, se contabilizaron un total de 73 larvas y huevos en el sistema integrado y 21 en el convencional. Además, el muestreo 3 presentó diferencias con respecto al muestreo 2 y similitudes estadísticas a los muestreos 1, 5 y 6. Finalmente, el muestreo 2 presentó la menor cantidad de larvas y huevos viables para ambos tratamientos, con 10 en el manejo integrado y 8 en el manejo convencional (Ver Anexo 8)

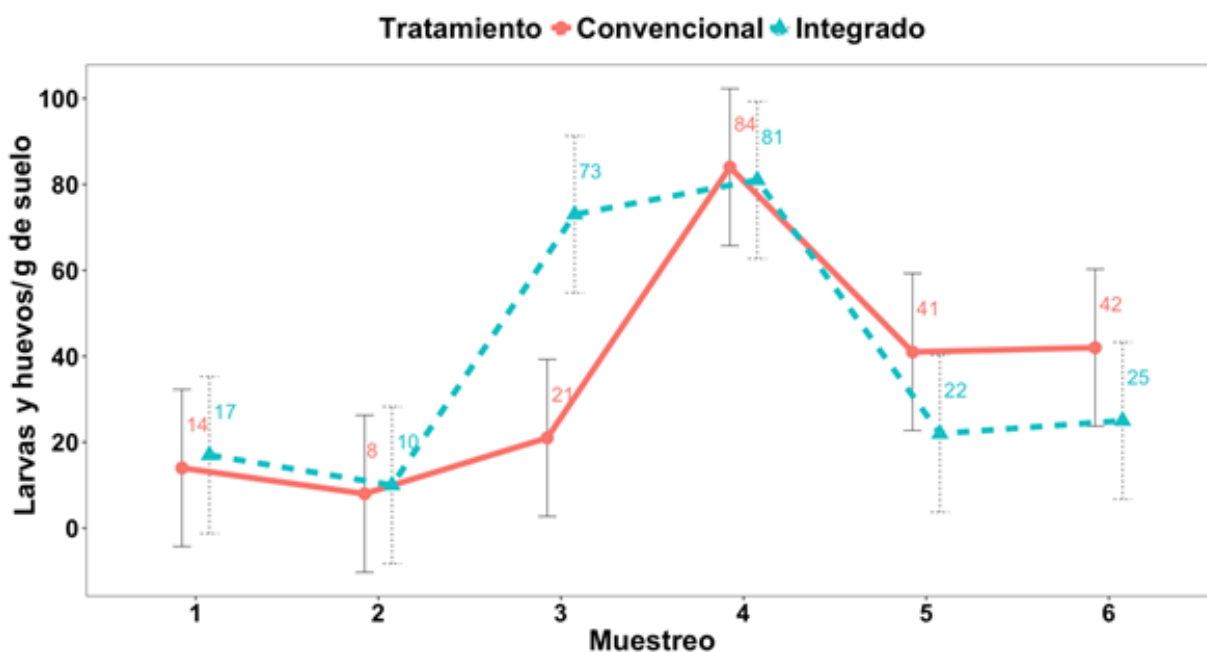


Figura 6. Efecto de los tratamientos sobre larvas de *G pallida* por gramo de suelo bajo manejo convencional e integrado Estación Carlos Durán. Tierra Blanca. Cartago 2017.

La similitud en el efecto alcanzado para el manejo integrado contra el convencional comentado previamente (Anexos 7 y 8) pudo ocurrir porque la duración del ciclo del nematodo oscila entre cuarenta y cinco a sesenta días. Dicha variación en ese periodo ocurre dependiendo de las condiciones ambientales y de los estímulos presentes en el terreno (Piedra, 2012). Posterior a este espacio de tiempo, el quiste pasa a un estado de madurez, donde la hembra muere y el cuerpo pasa a un proceso llamado curtimiento, en este momento se origina la transformación del quiste blando a uno rígido con mayor dureza. Luego de que el quiste madura, tiende a desprenderse de la

raíz de la planta de papa y cae al suelo, donde se presume que es más susceptible al ataque de antagonistas como *Trichoderma*, puesto que está en contacto directo con el antagonista (Ortega, 2008; Tovar, 2006).

Por otra parte, en cuanto a las figuras anteriores (5 y 6), se notó como en los muestreos 5 y 6 de la figura 5 hubo un aumento en la cantidad de quistes en el suelo. Sin embargo, al analizar los mismos muestreos en la figura 6 no existió un incremento tan acentuado como en la figura previa, lo que indica que la viabilidad de los quistes encontrados fue menor en ese periodo de tiempo, esto se evidenció por el crecimiento desacelerado de larvas y huevos encontrados. Lo anterior pudo ser ocasionado por un control que ejerció *Trichoderma* en el quiste y porque el tratamiento integrado fue el que tuvo menor cantidad de larvas y huevos. Es por estos resultados que el MIP se presenta como una estrategia que se puede implementar en un cultivo como la papa, porque las poblaciones de nematodos que tolera este cultivo son relativamente altas y el hongo, así como los demás métodos, pueden disminuir las poblaciones de quistes y al mismo tiempo evitar la contaminación con agroquímicos el suelo (Bustillo, 2008). Por su parte, de manera similar Contina *et al.* (2017), así como Dandurand y Knudsen (2016), indican que este hongo reduce la incidencia y reproducción de *G. pallida* en las raíces de papa, gracias a esto coloniza la plaga de manera eficaz y brinda protección para la planta en la rizosfera, sumado a que puede continuar actuando en el lugar de aplicación por un periodo de tiempo extenso.

Otro aspecto importante generado en las figuras 5 y 6 en el sexto muestreo es que, dado que teóricamente ya había iniciado un ciclo de vida nuevo de *Globodera* (debido al ciclo de sesenta días que posee la plaga), se esperaban aumentos considerables en las poblaciones de quistes, larvas y huevos por gramo de suelo; no obstante, estas más bien disminuyeron en comparación con los dos muestreos anteriores (4 y 5). Se cree que posiblemente el antagonista logró posicionarse en la rizosfera y controló al patógeno. Adicionalmente, se efectuó un análisis microbiológico del terreno para reconocer algunas especies presentes en este, lo que dio como resultado la aparición de *Trichoderma* y demás hongos en el suelo como; *Mucor* sp. sumado a gran cantidad de nematodos de vida libre (VL), esto concuerda con los resultados y con lo comentado previamente (Anexo 1).

Sobre este tema, Infante *et al.* (2009) y García (2016) mencionan que *Trichoderma* puede interactuar con agentes patógenos mediante diferentes mecanismos, con los cuales logra un combate oportuno, esto aumenta la habilidad del hongo para colonizar la rizosfera de las plantas. Acorde con

esto, en el momento que el quiste se desprende de la raíz, el hongo busca un modo de ingreso, que se presume pudo haber sido empleado el micoparasitismo. Esto por las condiciones en las cuales se desarrolla el nematodo y la proximidad que se crea una vez que el quiste maduro cae al suelo.

Una vez que se da el contacto quiste-hongo eventualmente se facilita el accionar del antagonista, asimismo, se sospecha que la invasión del hongo al quiste sucedió en varias fases. La primera se refiere al crecimiento, donde *Trichoderma* detecta a distancia la plaga (Castro-Toro & Rivillas-Osorio, 2012) y (Romero-Cortes, López-Pérez, Ramírez-Lepe & Cuervo-Parra, 2016). Esta fase pudo suceder al inicio de la investigación, por ejemplo, entre los muestreos 2 y 3 (Figura 5 y 6), donde las poblaciones del nematodo fueron mayores en el manejo integrado, quizás porque *Trichoderma* se encontraba habitando el sitio y localizando la plaga.

Luego, entre el muestreo 3 y 4 se dio el periodo en el que la cantidad de quistes, larvas y huevos comenzaron a disminuir en comparación al manejo integrado. En este momento, se considera que ocurre la siguiente fase, la cual inicia cuando el hongo enrolla o adhiere las hifas al cuerpo del hospedante mediante estructuras especializadas, dicha interacción se lleva a cabo gracias a la acción de las lectinas que se encuentran en la pared celular. Seguidamente, comienza la degradación enzimática del quiste donde se ven involucradas enzimas micolíticas extracelulares como las quitinasas, celulasas, glucanasas y proteasas, que intervienen con la degradación celular del quiste (Pérez, Hermosa, & Monte, 2017). Por último, se encuentra la etapa en que la disminución de quistes, larvas y huevos llega a su punto máximo, entre los muestreos 4 y 5, esto pudo estar relacionado principalmente a que una cantidad elevada del hongo se encontraba en la fase final del mecanismo, cuando el antagonista se introduce en el quiste para causar la destrucción de los huevos y juveniles del nematodo presentes (Castro-Toro & Rivillas-Osorio, 2012) y (Romero-Cortes *et al.*, 2016).

Consecuentemente, la acción de *Trichoderma* quizá haya evitado que el nematodo se reprodujera con facilidad, ocasionando daño a los huevos dentro del quiste, o atacando los juveniles que se encuentran en la rizosfera. Afirmando lo dicho Sharon *et al.* (2001), existe una interacción directa comprobada entre *Trichoderma* y *Globodera*. Además, esta aseveración es apoyada por Saifullahi y Naqib Ullah Khan. (2014), quienes ratifican que *Trichoderma* es un hongo invasivo, debido a que coloca gran cantidad de hifas en la superficie del quiste y lo coloniza de manera efectiva. De manera complementaria en dicho estudio, se aplicó la metodología de fraccionamiento

por congelamiento, la cual consiste en la ruptura del quiste por las temperaturas tan bajas a las que se ve expuesto. En consecuencia, los quistes de *Globodera*, se hallaron efectivamente con la presencia del *Trichoderma* dentro de los huevos del nematodo, lo que confirma que el hongo pudo haber estado ejerciendo cierto control en el quiste.

Por lo considerado previamente es que el control biológico, en conjunto con otras prácticas aplicadas de manera integrada, se presume que contribuye con una intervención positiva y eficaz para disminuir la cantidad de nematodos en el cultivo y en el suelo como tal (Dong y Zhang; 2006 y López-Lima; 2013). Del mismo modo, un estudio realizado por Trifonova, (2010), concuerda con lo indicado, puesto que al desarrollar biopreparados con bacterias y hongos como *Trichoderma* spp. y *Fusarium* spp. dieron como resultado un efecto inhibitorio significativo en la multiplicación del nematodo, incluso redujeron de un 36 a 44,4% las tasas de multiplicación de *G. rostochiensis* por acción de ambos hongos utilizados. También, los tratamientos mejoraron el crecimiento y rendimiento de la papa. Por su parte, Zapałowicz & Janowicz (2000) realizaron un proyecto en cultivos como tomate, donde los resultados de antagonismos entre *T. viridae* y *Penicillium frequentans* vs *G. rostochiensis* disminuyó la influencia negativa que tuvo el nematodo y aumentó significativamente el rendimiento, por lo que se presenta como una buena opción no solo para el control, sino también para la producción del cultivo.

Igualmente, Cepeda-Siller *et al.* (2018) coinciden en que el uso de diferentes hongos resulta eficaz para el control de *Globodera* sp. razón por la cual se tiende a crear un equilibrio entre los antagonistas y la plaga, lo que controla y equipara las poblaciones de esta última. De manera similar a las investigaciones previas, se observó en este estudio que el control convencional no logró tener importantes diferencias con respecto al manejo integrado y, quizá, este último se presenta como una opción con mayores beneficios en el medio ambiente.

En lo que refiere al manejo químico, Pacages *et al.* (2002) discrepan con la presente investigación al sostener que el tratamiento químico, tanto para quistes como para los estadios juveniles del nematodo, ocasiona una tasa de multiplicación menor; por lo tanto, logra disminuir significativamente la población al compararlo con un terreno en descanso o mediante controles culturales, como abono verde y cultivo de plantas no hospedantes. Sin embargo, para esta investigación, el manejo químico no se presentó como una alternativa destacada debido a los resultados logrados en la figura 6, ya que posterior al muestreo 4 del tratamiento integrado presentó

un decrecimiento en la cantidad de larvas y huevos por gramo de suelo, lo que se traduce en un control más eficiente de dicho manejo en comparación con el convencional. Al mismo tiempo, se considera que un plazo mayor de aplicación (periodo más largo de uso) puede generar un mejor control de la plaga.

Igualmente, un estudio ejecutado en Veracruz, México, coincide con la afirmación previa, donde según López-Lima *et al.* (2013) el manejo químico mediante el uso de carbamatos contra *Globodera*, no fue efectivo para reducir la población de este nematodo, ya que se encontraron más de seis mil quistes por kg de suelo, cuando lo ideal desde el punto de vista de umbrales económicos es no sobrepasar los cuarenta quistes por kg de suelo. Hay que tener en cuenta que en ese ensayo no se contempló la viabilidad de los quistes, de lo contrario los números podrían ser más elevados.

Ahora bien, si además de las pruebas de su reducido efecto en el combate con la plaga se suma que el grupo químico de los carbamatos poseen alto efecto residual (cerca de los veinte días), elevada solubilidad en agua y algunos de ellos como el carbofuran, metomil y oxamil son utilizados frecuentemente en la zona de Cartago (Masís-Meléndez & Romero-Blanco, 2015), se está frente a un problema mucho mayor. Lo anterior, debido a que existe la posibilidad de causar afectación tanto hacia los microorganismos benéficos del suelo, lo que disminuye sus poblaciones y provoca la contaminación de los mantos acuíferos (López-Lima, Sánchez-Nava, Carrión, & Núñez-Sánchez, 2013), así como también de permanecer en los tubérculos después de cosechados y causar intoxicaciones en los consumidores (Sanz-Bustillo, 1997).

Por otro lado, en lo que se refiere a la aplicación del nematicida, Ramírez-Muñoz *et al.* (2014) mencionan que normalmente en la siembra es el momento en el cual se aplican los químicos como, por ejemplo: insecticidas, nematicidas granulados, bactericidas y fungicidas, así como el fertilizante granulado. En concordancia, los agricultores en la zona de Cartago realizan tradicionalmente la aplicación del agroquímico de esa manera, por eso se decidió elaborar así el experimento, como una forma de apegarse a la metodología real con la cual trabajan los productores. La desinformación por parte de los agricultores, producto de la deficiente capacitación de los técnicos, falta de investigación o por una costumbre heredada, entre otros, es una razón por la cual se incorporó el nematicida a la siembra.

Sin embargo, dicha labor se cataloga como una mala práctica agronómica, además, se plantea que la aplicación del nematicida en la siembra es una de las posibles razones por las cuales el tratamiento convencional no tuvo diferencias significativas en comparación con el manejo integrado. En concordancia, Landaverde (2012) y el Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. (2009) mencionan que no es efectivo el agroquímico por el momento en el que se emplea, debido a que los quistes aún no han eclosionado (se encuentran cerrados) y el producto no tiene forma de ingresar a él por la composición que posee el quiste (quitinas en su mayoría).

También, se sabe que la dureza con la que es formado el quiste evita que sea perforado o degradado por el químico (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, 2009). Esto es más evidente si se considera que en este periodo no existe un estímulo alto por parte de *S. tuberosum*, ni de las plantas hospederas (malezas), puesto que el cultivo se encuentra en la primera etapa fenológica, que va desde la emergencia de la planta hasta inicio de la tuberización, por lo cual la cantidad de exudados emitida es mínima (Matielo de Paula *et al.*, 2005). Además, si se toma en cuenta que la cantidad de arvenses fue escasa por la limpieza del terreno a la hora de la siembra, la activación que se esperó por parte de los nematodos fue limitada y es posible que gran parte de los juveniles se encontraban protegidos dentro de los quistes. Talavera (2003) coincide con lo dicho y agrega que el uso de nematicidas produce un pobre rendimiento en el combate contra los nematodos como *Globodera*, afirma que el quiste funciona como una capa que permite la protección de los huevos y juveniles localizados dentro de ella, donde no es posible que el nematicida ingrese de manera efectiva.

Posterior a la eclosión del quiste y a la salida de los nematodos, las concentraciones del químico muestran niveles bajos, lo cual suscita una ventaja para la plaga, puesto que el nematicida no surte efecto en ellos, esto si se considera que el periodo transcurrido desde la aplicación hasta la eclosión de los huevos es amplio (Landaverde, 2012). Por otro lado, algunos químicos utilizados para el combate de *Globodera*, como el Oxamil, Vydate, entre otros, funcionan de manera sistémica en el cultivo y las plantas al sufrir daños en las raíces ocasionados por los juveniles de *Globodera* provocan que el nematicida no pueda ser absorbido de manera eficiente por la planta, por lo que afecta su accionar. Para reafirmar lo expresado, Arteaga (2018) indica que las raíces con daños ocasionados por nematodos no permiten que el químico se transporte de manera eficiente, ya que estos productos actúan en un lapso corto y, poco eficiente, obligan al productor a realizar una mayor

cantidad de aplicaciones, estas razones podrían acrecentar los problemas de efectividad y porque no, de gasto económico para el dueño de la finca.

Otra posible razón por la cual el manejo convencional no tuvo resultados significativos con respecto al integrado pudo estar relacionada con la aplicación continua de un solo grupo de nematicidas (carbamatos) que quizás crean resistencia a *Globodera* sp. Coincidiendo con lo indicado, Raymond y Cloyd (2010) y Dong y Zhang (2006) afirman que al realizar aplicaciones frecuentes de agroquímicos (en este caso nematicidas), puede aumentar la posibilidad de que la plaga cree resistencia hacia la molécula química utilizada, lo que incrementa el riesgo de la reproducción masiva de algunos individuos posterior a la aplicación. Además, confirman que la efectividad en el uso prolongado de los nematicidas disminuye, por lo que cada vez que se aplica algún producto químico, este no va a tener el efecto deseado sobre el microorganismo “blanco”. Es por esto que algunos organismos de una población tienen la capacidad de tolerar los efectos de una sustancia creada para su combate, seguir su ciclo de vida normal, llegar a reproducirse y heredar estas características a su descendencia.

También, se considera la posibilidad de una biodegradación del nematicida, la cual, según Castillo *et al.* (2003), es producto de aplicaciones repetitivas del mismo grupo químico en un terreno determinado. En adición, Roza y López. (2015) mencionan que la degradación acelerada de los carbamatos se ve favorecida en suelos con pH alcalinos. Sin embargo, como ya es conocido, los suelos de Costa Rica presentan como una de sus principales características la acidez, es decir que ocurriría lo opuesto, el químico tendería a degradarse lentamente (Alvarado & Juan, 2004). Según Padilla, 2017 y MAG, 2014 los suelos de la zona donde se ubicó el estudio son catalogados como andisoles, por su cercanía con el volcán Irazú, es por esto que presentan como características principales alta cantidad de bases y en su mayoría se presentan como suelos neutros. No obstante, si el suelo donde se realizó el estudio hubiese tenido problemas de acidez, dicha condición no se presenta como un factor único que determine o que condicione la deposición del químico. Existen múltiples maneras con las cuales se puede dar la biodegradación, una de ellas, por ejemplo, es la presencia de microorganismos en el suelo, ya sean hongos, bacterias, nematodos, entre otros. Estos seres vivos se encargan de reducir mediante síntesis, las concentraciones del nematicida aplicado por lo que comúnmente se conoce como bioremediación (Hernández-ruiz, Álvarez-orozco, & Ríos-osorio, 2017).

Es oportuno agregar que géneros como *Fusarium*, *Trichoderma* sp., y *Mucor* sp., entre otros, están involucrados en los procesos de biodegradación y en consecuencia fueron identificados mediante análisis microbiológico en el sitio del ensayo (Anexo 1). La presencia *Trichoderma* sp., así como la de otros microorganismos como bacterias y nematodos de vida libre, puede interactuar con el producto e intervenir en la degradación de carbamatos en el suelo de manera natural (Paredes, 2017). En concordancia con lo anterior, Verma *et al.* (2007) ratifican que *Trichoderma* sp. efectivamente posee la capacidad para degradar agroquímicos como endosulfan y pentaclorofenol. La degradación la ejecutan por medio de hidrolasas, peroxidasas, lacasas y demás encimas líticas que el antagonista produce en gran cantidad y de manera natural.

Por lo tanto, concierne tomar en cuenta las características de los microorganismos incluido *Trichoderma*, en programas de manejo integrado de plagas para suelos contaminados con químicos, ya que, el hongo indicado puede mejorar la estructura del suelo al aumentar la vida, interacción y dinámica con diferentes microorganismos. Aunado a esto, interviene en la descomposición de la materia orgánica presente, lo que ayuda a que los nutrientes se conviertan en formas mayormente disponibles y absorbibles para la planta (Ortuño, Miranda, & Claros, 2013). Incluso, posee la capacidad de estimular el crecimiento, porque produce metabolitos que promueven los procesos de desarrollo (Chiriboga, Gómez, & Garcés, 2015). Por tales motivos es fundamental recalcar la importancia de que se adopten en mayor medida este tipo de prácticas integradas.

Por otra parte, en Costa Rica existen estudios realizados para la variedad floresta (utilizada en esta investigación) referente a los umbrales de daño causado por los nematodos a las plantas. Piedra (2012) sugiere que dicha variedad comienza a evidenciar daños a partir de trece larvas y huevos por gramo de suelo, cabe destacar que, en los resultados de este estudio, la mayoría de los muestreos superaron dicho umbral. Por ejemplo, en ambos tratamientos (convencional e integrado) en el muestreo 4 se percibieron poblaciones de 137 y 157 larvas y huevos por gramo de suelo respectivamente, lo que significa doce veces más nematodos de los permitidos como límite de tolerancia por parte de la planta.

Al considerar lo anterior, quizás el daño radical ocasionado por la plaga afecta de manera directa el rendimiento y la producción de tubérculos, ya que al debilitar las raíces la planta absorbe menos agua y reduce la cantidad de nutrientes asimilados como nitrógeno, fósforo y potasio (Rosende, García, & Cabaleiro, 2003). Dicha situación favorece al establecimiento y la reproducción de la plaga, al mismo tiempo, la densidad poblacional de quistes en el cultivo de la papa aumenta, aún efectuando las aplicaciones de nematicidas. Según Coto (2005), esta acción obedece a que *Globodera* sp. solo se hospeda en algunas especies pertenecientes a la familia de las solanáceas como la papa, berenjena, chile, etc; quizás por este motivo los monocultivos brindan las condiciones propicias en alimentación y hábitat para la proliferación, aumento y permanencia de la plaga en el terreno. Por esta causa, se dificulta en mayor medida que disminuyan las poblaciones por el buen ambiente formado de manera ininterrumpida.

En resumen, los resultados conseguidos en este ensayo crean interrogantes sobre la efectividad que posee el método químico. Al mismo tiempo, surge la duda de si en realidad es la opción más indicada para tratar la plaga, esto mientras no exista un producto (orgánico o químico) que estimule o propicie la eclosión de los quistes con una efectividad similar a la que es realizada naturalmente por exudados radicales de las plantas hospederas. Por su parte, implementar un manejo integrado incorporando de manera paulatina los hongos antagónicos como *Trichoderma* (un organismo que interviene directamente con la plaga y que va a permitir mermar el daño causado por del nematodo mediante un ataque temprano), añadiendo también que al establecerse el hongo en el sitio de cultivo va a permitir un control a un plazo mayor y no solo en el momento del empleo como lo hacen los productos químicos, sino que goza con la ventaja de que al ser un método natural carece de un periodo de residualidad como tal, además realizar una recolección de aporco, le va a permitir al productor tener un manejo más fácil del cultivo, disminuir el inóculo inicial en el terreno y ofrecer un producto con menor cantidad de residuos químicos al consumidor (López-Lima *et al.*, 2013). Más aún, el manejo integrado aumenta la cantidad de microorganismos en el suelo que pueden actuar para contrarrestar las afectaciones de las plagas, ya que crean y mantienen un equilibrio en el ambiente por los múltiples beneficios que poseen, como la transformación de la estructura del terreno, nutrición de plantas, secreción de hormonas de crecimiento, incremento en la absorción de nutrientes, combate de enfermedades y plagas, entre otros (Asociación Vida Sana, n.d.).

5.1. Rendimiento del cultivo de papa

En el Cuadro 1, se observa el rendimiento (kilogramos) para las tres calidades (comercial, no comercial y desecho) según los tratamientos integrado y convencional. En lo que se refiere al manejo integrado, en la calidad comercial el mayor peso fue de 7,5 kg y el más bajo de 7,1 kg con un promedio de rendimiento de 7,3 kg. En el tratamiento integrado, pero esta vez con la calidad no comercial, se alcanzaron pesos de 11,2 kg y 8,4 kg respectivamente, con un rendimiento promedio de 9,3 kg. Por último, el tratamiento integrado en la calidad de desecho presentó como producción más alta 7,2 kg y la más baja 6,3 kg para un promedio de 6,4 kg. Por otro lado, en el caso del tratamiento convencional con la calidad comercial, se reveló mayor heterogeneidad en cuanto a los rendimientos con pesos de 12,9 kg y 4,6 kg para un promedio de 8,9 kg. El tratamiento convencional con calidad no comercial presentó rendimientos de 12,6 kg y 8,6 kg con una media de 10 kg. Finalmente, el tratamiento convencional para desecho presentó valores de 8.8 kg y 6.3 kg para un promedio de 10 kg.

Cuadro 1. Rendimientos dados para cada uno de los tratamientos, dividido de acuerdo a sus calidades recolectadas de papa variedad floresta dado en kilogramos. Estación Experimental Carlos Durán. Tierra Blanca en Cartago. 2017.

Rendimiento de tratamientos en kg			
Tratamientos	Comercial	No comercial	Desecho
Integrado	7.3	11.2	7.2
	7.1	8.5	5.9
	7.5	8.4	6.3
Convencional	4.6	8.8	6.3
	12.9	12.6	8.8
	9.3	8.6	7.1

Por otra parte, se observó que, en el manejo convencional para la clase comercial, se obtuvo un peso promedio de 8,93 kg con una desviación estándar de 2,40 kg, para la clase no comercial se produjo 10 kg en promedio y un más menos de 1,30 kg y, por último, la clase de desecho resultó una cantidad de 7,4 kg y un más menos de 0,74 kg. Además, lo que respecta al manejo integrado, este resultó en la clase comercial 7,3 kg y una desviación estándar de 0,11; en la clase no comercial se encontró 9,37 kg y un más menos de 0,92 kg; por último, en la clase de desecho 6,47 kg y con un más menos de 0,38 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Promedio de rendimiento (\pm error estándar) de la papa variedad floresta de acuerdo a su calidad y al tratamiento de manejo del nematodo *Globodera* spp. Estación Experimental Carlos Durán. Tierra Blanca en Cartago. 2017.

Sistema	Medias de tratamientos en kg		
	Comercial	No comercial	Desecho
Integrado	7.30 \pm 0.11	9.37 \pm 0.92	6.47 \pm 0.38
Convencional	8.93 \pm 2.40	10.0 \pm 1.30	7.40 \pm 0.74
Pr>F	0.5743	0.7690	0.4850

*Valores menores a 0.05 presentan resultados significativos.

Con respecto al análisis de varianza realizado, no se presentaron diferencias significativas, para ninguna de las tres calidades del tubérculo, comercial, no comercial y de desecho entre tratamientos (Cuadro 2). En concordancia con esto, Pacages *et al.* (2002) destacan que la productividad obtenida en su experimento al aplicar nematicidas químicos no llegó ser significativamente diferente comparada con el manejo integrado y, también, se relaciona con la similitud que hubo en el número de individuos (plaga) encontrados en ambos tratamientos. Como se puede ver en el manejo convencional, los datos de peso fueron más heterogéneos entre sí, es decir, variaron en mayor medida, por lo que se obtuvieron tubérculos sumamente desiguales en cuanto a peso y tamaño en las repeticiones de cada tratamiento. Esto se presentó para cada una de las calidades evaluadas de una manera muy similar y llegó a tener un error estándar de hasta 2,4 kg. Por el contrario, los resultados del peso en el manejo integrado revelan que hay más homogeneidad en este manejo, esto significa que los tubérculos tuvieron un peso semejante entre cada uno y entre las repeticiones, además, la cifra que presentó un error estándar mayor fue el no comercial con 0,92 kg (Cuadro 2). Lo anterior se detalla en la figura 7, donde las líneas colocadas a lo largo (de arriba hacia abajo) indican la varianza que se tuvo en los datos del experimento y se distingue que en el manejo convencional existen líneas más amplias que en el integrado.

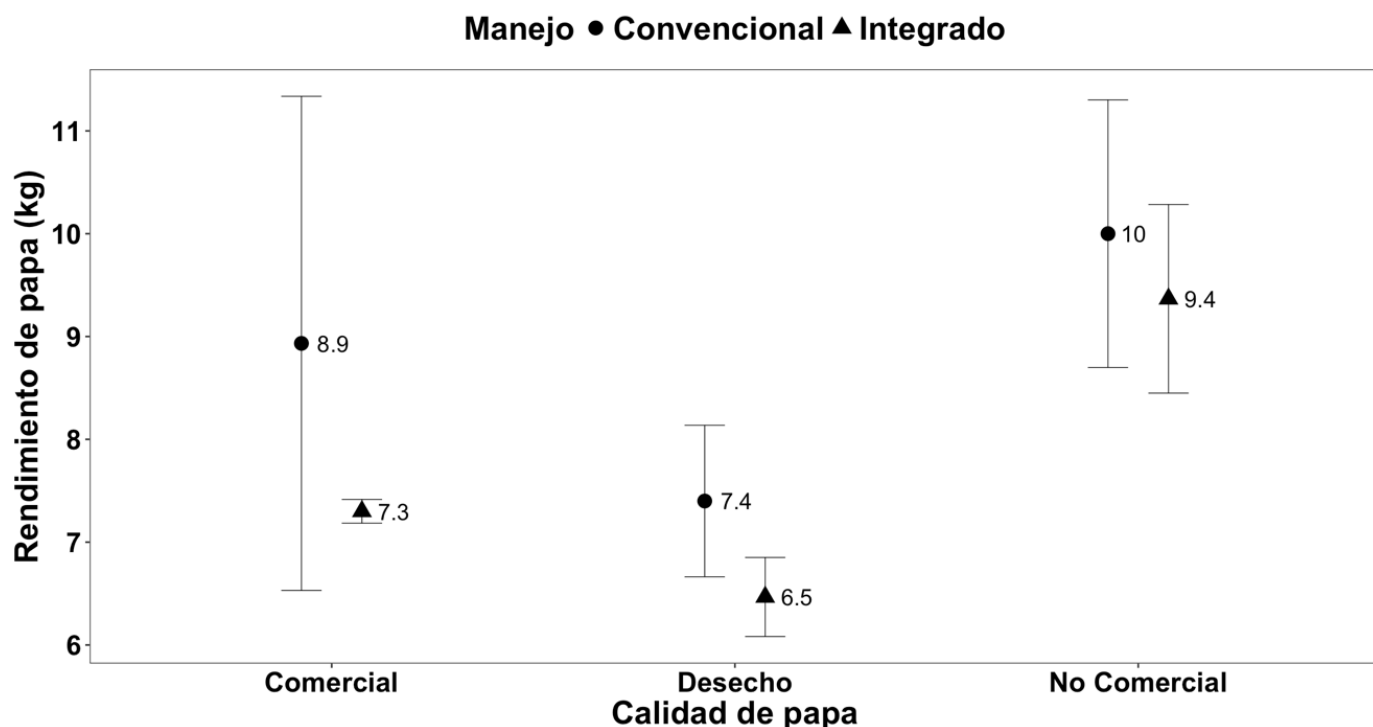


Figura 7. Rendimiento promedio de la cosecha de papa (kg) de acuerdo a su calidad y al tratamiento de manejo del nematodo *Globodera* spp. Estación Experimental Carlos Durán en Tierra Blanca en Cartago. 2017. Barras son errores estándar.

En contraste con lo descrito, Franco *et al.* (1993) indican que algunas aplicaciones de nematicidas no fumigantes incrementan significativamente el rendimiento del cultivo de papa; sin embargo, estos resultados difieren de los obtenidos en esta investigación, ya que la cantidad de kilogramos colectados en ambos tratamientos (convencional e integrado) tomando en cuenta las tres calidades de manera general y en promedio fueron semejantes. No obstante, al mirar los rendimientos por parcela se nota una heterogeneidad (Cuadro1), donde existen diferencias entre los kilogramos colectados en cada una de las calidades analizadas, especialmente mostrada en el tratamiento convencional, lo cual podría ser un efecto eventualmente ocasionado por la aplicación de los nematicidas. Coincidiendo con lo citado, Paredes (2017) afirma que el grupo de los carbamatos está ligado directamente a la reducción y debilitamiento de la planta, así como también tiene un efecto directo sobre el tamaño, color y maduración del tubérculo, que finalmente se traduce en diferencias en los pesos de los tubérculos.

Asimismo, una cantidad de inóculo inicial elevado al momento de la tuberización es un factor fundamental para tomar en cuenta, ya que puede verse afectada la plantación desde el inicio y,

posteriormente, al final del ciclo tener bajos rendimientos. Según Carreño (2017), cuanta mayor es la cantidad de quistes o larvas y huevos por gramo de suelo, menor es el rendimiento de la planta, ahí radica la importancia de mantener poblaciones bajas de la plaga y disminuir en lo posible la cantidad de quistes o larvas y huevos en el suelo. Al existir una cantidad de 16 a 32 huevos por g de suelo, el rendimiento puede bajar de un 20% hasta un 50%, en esta investigación se hallaron hasta 83.67 larvas y huevos por g de suelo, con lo que superó cuantiosamente la cantidad el umbral mencionado y se traduce en una afectación en el rendimiento del cultivo (Núñez *et al.*, 2003).

En consecuencia, si se realiza la suma de la producción del manejo integrado, por ejemplo, en el Cuadro 2, da como resultado 208,26 kg en 180m². Entonces en 1 ha se estaría obteniendo 11,57 Ton, si se toma en cuenta que el promedio de producción para la variedad floresta en Cartago se encuentra según el SIA. (2017) alrededor de 22,4 t/ha, se estarían perdiendo 10,83 toneladas de papa, lo que se traduce en una reducción considerable cercana al 47,7% y, por ende, el productor estaría dejando de percibir una suma elevada de utilidades al momento de la venta. Esto sin tomar en cuenta el aumento de los costos por kilogramo de tubérculo, debido a que cuanto mayor sea la producción menor será el costo, porque se diluyen los costos en los kilogramos producidos, lo que quiere decir que se produciría más con la misma cantidad de dinero invertida.

Ahora bien, una de las razones que ocasiona que los rendimientos mostraran cifras similares fue, tal vez, el manejo agronómico que se les realizó, puesto que fue semejante para ambos tratamientos. Por ejemplo: la fertilización del cultivo se dio de igual forma para el manejo integrado y convencional, por eso es que la nutrición y la condición general de la planta no se vio afectada de un sistema a otro. Lo mismo ocurrió con los agroquímicos utilizados para combatir las enfermedades como hongos y bacterias propias de *S. tuberosum*, por lo que ninguno de los tratamientos se vio beneficiado o afectado de una u otra manera en ese sentido. Además, las poblaciones de nematodos se mantuvieron homogéneas a lo largo del ensayo en ambos experimentos, razón por la cual los daños y disminuciones de rendimiento fueron parecidos, no hubo una parte más afectada que otra por dicha situación.

5.2. Costos totales de las dos parcelas del experimento

En el Cuadro 3 se muestran los costos totales referentes al manejo convencional e integrado de las parcelas en estudio. De acuerdo con los resultados, en lo que respecta a la preparación de

terreno (Anexo 4), el costo total en la parcela convencional e integrada fue de ₡231.888,00 versus ₡543.000 que se refiere al monto reportado en la literatura (Avilés y Piedra, 2016). Esta diferencia se da principalmente porque en el manejo convencional encontrado en la literatura, el apartado de cosecha de las parcelas fue colocado en los costos por preparación del terreno, debido a que fue una labor contratada. Por el contrario, en este trabajo dicho rubro se sitúa en los costos de mano de obra, puesto que se consideró más acertado ubicarlo en ese apartado, ya que se incurre en uso de tiempo y de jornales propios de los colaboradores por lo que impacta directamente dicho rubro.

Cuadro 3. Costos totales de las parcelas referentes al manejo convencional e integrado. Estación Experimental Carlos Durán. Tierra Blanca, Cartago, 2017.

Costos Totales para los dos manejos utilizados			
Actividad	Costo Convencional	Costo Integrado	Costo Integrado Literatura*
Preparación del terreno	₡231.888,00	₡231.888,00	₡543.000
Costo de producción	₡3.835.888,00	₡3.896.666,00	₡3.265.412,00
Costo de mano de obra	₡695.722,00	₡773.055,00	₡1.108.282,00
Total	₡4.763.498,00	₡4.901.609,00	₡4.916.694,00

*Fuente: (Avilés y Piedra., 2016)

En referencia al costo de producción, el manejo convencional (Anexo 2) obtuvo ₡3.835.888,00 y el integrado (Cuadro 3) de ₡3.896.666,00 versus ₡3.265.412,00 de lo que reporta la literatura. El aumento que se generó en el sistema integrado fue de ₡60.778 con respecto al manejo convencional, obedece a la compra del hongo para la aplicación. En lo que respecta al costo por mano de obra, en el tratamiento convencional (Anexo 5) fue de ₡674.091,00, mientras que en el manejo integrado (Anexo 6) fue de ₡773.055,00. La diferencia entre los tratamientos se debe a la contratación de personal para las labores de recolección del aporco al final de la cosecha y la aplicación de *Trichoderma*. Finalmente, se encuentran los costos totales de ambos tratamientos, para el manejo convencional se tuvo ₡4.763.498,00, mientras que para el manejo integrado se tuvo un dato de ₡4.901.609,00, monto cercano a los cinco millones, sin embargo, con una corta diferencia.

De manera similar, Avilés y Piedra (2016) hallaron que los costos totales para el establecimiento de papa mediante el manejo convencional en Costa Rica rondan los ₡4.916.694,94 por hectárea, lo cual concuerda con los costos conseguidos en este estudio, que dio como resultado ₡85.354 en un área de 180m² tomando en cuenta mano de obra, costos de producción y preparación

del terreno, que al ponderarlo a una hectárea sería ₡4.763.498,00 (Cuadro 3). Si este dato se compara con el costo por hectárea obtenido en el manejo integrado del trabajo sería de ₡4.901.609,00, lo cual da como resultado una diferencia de ₡138.111 mayor al obtenido con aplicaciones químicas.

Con respecto a este incremento en los costos, este se atribuye a factores como, las dosis aplicadas del antagonista, sumado a que la mano de obra aumenta al realizar la aplicación y la recolecta del aporco. De ahí se observa que el resultado mayor se produjo en el manejo integrado, puesto que no hay diferencias al compararlo con los otros productos aplicados como los fertilizantes, fungicidas, entre otros; ya que se utilizaron los mismos productos, en iguales cantidades y con los mismos jornales laborados (Anexos 2 y 3). En primera instancia esto podría ser un inconveniente para el productor de la zona debido al gasto económico extra; sin embargo, al comparar los datos con dosis menores pero igualmente adecuadas del hongo, se percibe una disminución en los costos. Lo previo se ve reflejado, por ejemplo: si se tienen costos por hectárea comparando los datos de resultantes de ambos tratamientos de ₡138.111, no representa un incremento desmedido en la producción, la diferencia existente entre estos manejos por hectárea en dosis inundativas. Por otro lado, si se toma en cuenta que cuando se establece el hongo se puede utilizar únicamente 1 kg/ha de este, los costos se disminuyen aún más, llegan a los ₡4.799.611,00, reduciendo la diferencia a ₡36.113, al compararlo con el convencional, lo cual hace más atractiva la utilización del hongo en el manejo integrado de plagas.

Dicho lo anterior, el mayor costo alcanzado en esta investigación se da principalmente porque el antagonista no tenía antecedentes de uso en este sitio de cultivo. De ahí que las primeras aplicaciones de *Trichoderma* se realizaron con una dosis elevada (inundativa) para que el hongo se adaptara de manera efectiva al suelo y así permitir que colonizara el sitio, esto coincidiendo con lo citado por Rivas, Martínez y González (2008) quienes recomiendan realizar aplicaciones inundativas con el hongo para permitirle establecerse de manera correcta y para garantizar el control de la enfermedad o plaga y su supervivencia en la parcela.

No obstante, si se desea realizar esta práctica de manera continua el empleo y las dosis de *Trichoderma* sp. disminuyen con el tiempo, debido a que este ya se encontrará habitando la zona y adaptado a ella, por lo cual las aplicaciones que ejecuten serían únicamente para reforzar la cepa presente en la parcela o sitio del cultivo (MAG, 2010). Asimismo, parte determinante del

experimento consistió en la concentración del hongo que se empleó para realizar las aplicaciones. Para este estudio se utilizaron concentraciones de $8,4 \times 10^6$ conidios en la primera aplicación y $2,0 \times 10^7$ conidios en las restantes dos aplicaciones del antagonista aplicadas en los tratamientos, lo cual corresponde con lo que afirman Chiribonga *et al.* (2015) y González *et al.* (2005), quienes recomiendan dosis de 1 a 6 kg por hectárea con una concentración mínima de 10^6 conidios, para que resulte efectiva la utilización de *Trichoderma*.

Por su parte, se toman en cuenta factores como la seguridad al momento de la aplicación, porque la producción no se ve comprometida por la utilización de metodologías de control diferentes a la aplicación de químicos, además, la perturbación al medio ambiente es menor. Dicho lo anterior, se beneficia al aportarle microorganismos al suelo que le agregan mayor dinámica y equilibrio al sistema, sin contar las ventajas a largo plazo con respecto a textura, reciclaje de nutrientes al descomponerse rápidamente, suelos más fértiles, entre otros. La diferencia monetaria existente de un tratamiento a otro se ve recompensada con los beneficios acotados. Aunado a esto, se debe tener en cuenta que a pesar de que las pérdidas ocasionadas por el nematodo son reales, aunque difíciles de calcular porque hay muchos factores que intervienen, se tiene la obligación de controlarlo de una manera más amigable con el ambiente, para evitar la contaminación en nuestros suelos y aprovecharlos por más años (Rosende & Cabaleiro, 2003).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

No se encontraron diferencias significativas en la reducción de las poblaciones de nematodos entre el manejo integrado y el convencional. Ambos métodos presentaron un efecto similar contra las poblaciones del nematodo del quiste de la papa. No es necesario efectuar aplicaciones de nematicidas químicos sobre los suelos, los cuales finalmente generan intoxicación y matan los microorganismos importantes en las cadenas tróficas del suelo.

No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento para ninguna de las tres calidades del tubérculo (comercial, no comercial y de desecho) y entre los tratamientos convencional e integrado. El manejo de la fertilización y control de enfermedades se realizó de igual forma para ambos tratamientos. Por esta razón, independientemente del control que se utilice, la producción y rendimiento no se verá afectada.

Las diferencias obtenidas en los costos del manejo integrado con respecto al manejo convencional ascienden a poco más de \$138.111. El rubro en el que se incurrió en mayores gastos fue en el costo de producción, debido a la cantidad de *Trichoderma* aplicada (0.324 kg en 180m²). Si la cantidad del hongo empleada se redujera a una cantidad de 0,108 kg en 180m², las diferencias económicas serían menores, de únicamente \$36.113 por ha, por lo que puede ser valorado como una alternativa amigable con el ambiente para luchar contra la plaga.

Se recomienda la rotación de cultivos con familias de plantas como las brassicaceae, las cuales científicamente han demostrado su poder antagónico contra nematodos del género *Globodera* sp. Estas familias de plantas rompen los ciclos de vida de los nematodos y de paso se logra bajar las poblaciones de manera natural. El bajo efecto del nematicida utilizado puede estar relacionado a una biodegradación ocasionada por las múltiples aplicaciones efectuadas.

Realizar aplicaciones en etapas tempranas (durante la siembra) compromete la función del nematicida, ya que, durante esa etapa fenológica del cultivo, la gran mayoría de quistes no han eclosionado por lo que el producto no lo controlaría eficientemente. Por esto, es conveniente adoptar metodologías alternas como el MIP (Manejo Integrado de Plagas), labores como las presentadas en este ensayo (Incorporación de *Trichoderma*, recolección de aporco), incorporar abonos orgánicos,

así como microorganismos de montaña, con la intención de crear un equilibrio en el suelo, o bien utilizar el control químico más eficientemente, en etapas donde el nematodo sea más susceptible

Se recomienda realizar muestreos continuos para monitorear el comportamiento de la plaga y efectuar análisis de viabilidad (cantidad de larvas y huevos por gramo de suelo) en los quistes encontrados. Realizando este tipo de monitoreo, se puede dar un diagnóstico más fiable de la condición del lugar y la dosis del producto ya sea químico o biológico escogido por el productor a aplicar si este fuera necesario.

Es necesario realizar estudios similares a esta investigación en otros sitios donde se cultiva papa para conocer el comportamiento de *Globodera* sp. bajo otras condiciones climáticas y edáficas. De esta manera, se mejora la producción, y los rendimientos, se disminuyen las poblaciones de nematodos y se busca la manera de bajar costos.

Es fundamental que instituciones como el Ministerio de Agricultura y Ganadería, INTA, empresas privadas y las universidades públicas se unan e incorporen a estudiantes egresados de universidades al mercado laboral realizando más trabajos de investigación sobre maneras alternativas de combate para nematodos fitoparásitos incluido el nematodo del quiste de la papa.

7. LITERATURA CITADA

- ALAP. (2014). XXXVI Congreso Asociación Latinoamericana de la Papa- ALAP. En ALAP, XXXVI Congreso Asociación Latinoamericana de la Papa- ALAP (pág. 266). Bogotá. Obtenido de http://www.papaslatinas.org/wp-content/uploads/2017/09/Memoria_ALAP-2014.pdf
- Alvarado , A., y Fallas, J. (2004). Crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L . f .) En suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 87.
- Arteaga, B. (14 de Febrero de 2018). Determinación del potencial nematocida y nematostático in vitro de *Pleurotus ostreatus* (Agaricales: *Pleurotaceae*) sobre larvas J₂ de *Globodera pallida* (Tylenchida: Heteroderidae). *Tesis Licenciatura*. Quito, Ecuador.
- Asociación Vida Sana. (s.f.). *ec.europa.eu*. Obtenido de http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=CROPS-FOR-BETTER-SOIL_formation-5.pdf
- Avilés, J., y Piedra, R. (2016). Manual del cultivo de papa en Costa Rica. 98.
- Barría, J. (2010). Información general , introducción y control sobre la acción del *Cinara cupressi* y *Globodera pallida* en la región de Magallanes . *Tesis* . Magallanes, Chile.
- Bustillo, A. (2008). El Manejo Integrado de los Cultivos en relación con el control de Plagas. En A. Bustillo , *Los insectos y su Manejo en la cultura Colombiana* (págs. 93-282). Blancolor Ltda.
- Carreño, H. (2017). Identificación de genes regulados diferencialmente en respuesta a la infección por *Globodera pallida* en una variedad de papa resistente y otra susceptible al nematodo. *Tesis Maestría*. Lima, Perú.
- Castillo, A., Rojas, J., Monteros , R., Nardelli , J. y Guasch, G. (2003). Métodos para determinar carbofuran (2,3-Dihidro-2,2- Dimetilbenzofuran-7-IL Metilcabamato). Obtenido de Agrotecnia: <http://revistas.unne.edu.ar/index.php/agr/article/view/462/397>

Castro-Toro, Á. M. (2012). *Trichoderma* spp. Modos de acción, eficacia y usos en el cultivo de café. Recuperado el Enero de 18 de 2018, de Cenicafe.org: http://www.cenicafe.org/es/publications/Boletin_38_FINAL2014.pdf

Cepeda-Siller, M., Garrido, F., Castro, E., Sánchez, S. y Dávila, M. (2018). Infección In vitro de cepas de *Beauveria* spp. sobre *Globodera rostochiensis* Wollenweber (1923). Obtenido de Acta Universitaria Multidiciplinary Scientific Journal: <https://doi.org/10.15174/au.2018.1714>

Chiriboga, H., Gómez, G. y Garcés, K. (2015). Protocolos Para Formulación Y Aplicación Del Bio-Insumo: *Trichoderma* Spp. Para El Control Biológico De Enfermedades. IICA, 19-22. Obtenido de IICA: <http://www.iicabr.iica.org.br/wp-content/uploads/2016/05/Trichoderma-SSP2.pdf>

Contina, J., Dandurand, L. y Knudsen, G. (2017). Use of GFP-tagged *Trichoderma harzianum* as a tool to study the biological control of the potato cyst nematode *Globodera pallida*. *Applied Soil Ecology*, 115, 31-37.

Coto, Á. (2005). El Nematodo Blanco de la Papa (*Globodera pallida*. Stone). Obtenido de mag.co.cr: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/nematodo_blanco.pdf

Dandurand, L. y Knudsen, G. (2016). Effect of the trap crop *Solanum sisymbriifolium* and two biocontrol fungi on reproduction of the potato cyst nematode, *Globodera pallida*. *Annals of Applied Biology*, 1-10.

DGSV-CNRF. (2004). Manejo integrado de plagas. Recuperado el 30 de 05 de 2016, de Sagarpa.gob.mx: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Manejo_integrado_de_plagas.pdf

DGSV-CNRF. (2011). *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975 Nematodo dorado de la papa. Recuperado el 10 de 03 de 2016, de senasica.gob.mx: <http://senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento=23488&IdUrl=47137>

- Ebrahimi, N., Viaene, N., Aerts, J., Debode, J. y Moens, M. (13 de Enero de 2016). Agricultural waste amendments improve inundation treatment of soil contaminated with potato cyst nematodes, *Globodera rostochiensis* and *G. pallida*. *European Journal of Plant Pathology*, 21.
- Gacía, H. (2016). Evaluación de los mecanismos de acción biológica de *Trichoderma* para el control de patógenos de *Solanum tuberosum*. *Tesis Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de México*, 130. México.
- García, A. C. (2006). Identificación de especies de nematodos fitopatógenos de los géneros *Globodera* spp. y *Meloidogyne* spp. por medio de dos técnicas. 57. Cartago, Costa Rica.
- Hernández-ruiz, G. M., Álvarez-Orozco, N. A. y Ríos-Osorio, L. A. (2017). Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*, 18, 139-159.
- Humphreys, D. (2006). Evaluación de algunas modificaciones a los métodos de extracción de quistes en un suelo franco arcilloso infestado con *Globodera pallida* (Stone 1973). Recuperado el 07 de 03 de 2016, de repositoriotec.tec.ac.cr: [http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/457/Informe final.pdf?sequence=1](http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/457/Informe%20final.pdf?sequence=1)
- Landaverde, J. I. (2012). Uso de dos estrategias de control del nematodo dorado y fertilización del suelo en cultivo de papa. *Tesis de licenciatura. Veracruz, México*.
- López-Lima, D., Sánchez-Nava, P., Carrión, G. y Núñez-Sánchez, Á. E. (2013). 89 % Reduction of a Potato Cyst Nematode Population Using Biological Control and Rotation. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 425-431.
- Lord, J., Lazzeri, L., Atkinson, H. y Urwin, P. (2011). Biofumigation for control of pale potato cyst nematodes: Activity of brassica leaf extracts and green manures on *Globodera pallida* in vitro and in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 7882-7890.

- MAG. (2010). Guía técnica para la difusión de tecnologías de producción agropecuaria sostenible (1 ed.). San José, Costa Rica.
- MAG. (2014). Principales Suelos de Costa Rica. Recuperado el 23 de Agosto de 2019, de mag.go.cr: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html
- Martínez, A. M. (2011). Densidad poblacional de quistes y larvas (J₂) *Globodera rostochiensis* EN suelos cultivados con papa en el paisano municipio de las vigas de Ramírez. Recuperado el 09 de 03 de 2016, de cdigital.uv.mx: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31382/1/anamariamartinezmartinez.pdf>
- Martínez, B., Infante, D. y Reyes, Y. (2013). *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista Protección Vegetal*, 28, 1-11.
- Masís-Meléndez, F. y Romero-Blanc, E. (2015). Riesgo de Contaminación de los Acuíferos que abastecen las Nacientes río Loro, Arriaz, Paso Ancho y Lankaster del cantón central de Cartago debido a Plaguicidas Organofosforados y Carbamatos. Recuperado el 01 de 04 de 2018, de repositoriotec.tec.ac.cr: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6440/Plaguicidas_Acuferos_Muni-Informe_Final_Eric_R.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Matielo de Paula, F., Streck, N., Heldwein, A., Bisognin, D., Luiz de Paula, A. y Dellai, J. (2005). Soma térmica de algunas fases do ciclo de desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.). *Ciência Rural, Santa Maria*, 35, 1034-1042.
- Núñez, E. (2002). Aislamiento y evaluación de hongos nematófagos asociados a quistes de *Globodera rostochiensis* (Woll.) en la región del Cofre de Perote. Recuperado el 17 de 05 de 2016, de digeset.ucol.mx: http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Angel_Enrique_Nuñez_Sanchez.pdf

Núñez-Sánchez, Á., Núñez-Camargo, G. y Rebolledo-domínguez, O. (2003). Densidad de Población de Quistes de *Globodera rostochiensis* Woll . en el Cofre de Perote , Veracruz , México. *Revista Mexicana de Fitoptología*, 21, 207-213.

Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. (2009). Ficha Técnica Nematodo Dorado *Globodera rostochiensis*. Obtenido de oirsa.org: [https://www.oirsa.org/contenido/documentos/FICHA TECNICA NEMATODO DORADO.pdf](https://www.oirsa.org/contenido/documentos/FICHA%20TECNICA%20NEMATODO%20DORADO.pdf)

Ortega Cartaya, E. (2008). El nematodo quiste de la papa. I: Origen, diseminación, biología e importancia económica. *INIAHOY*, 18.

Ortuño, N., Miranda, C. y Claros, M. (2013). Selección de cepas de *Trichoderma* spp. generadoras de metabolitos secundarios de interés para su uso como promotor de crecimiento en plantas cultivadas. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 10, 1-17.

Padilla, A. (2017, Noviembre). Caracterización de suelo del sector Prusia, parque Nacional Volcán Irazú, con mira en la rehabilitación ecológica. *Tesis Licenciatura*, 21.

Paredes, M. (2017). Evaluación de la Biodegradación de un Insecticida Carbamato en Muestra de Suelo de Cultivo de Papa, Mediante *Trichoderma harzianum* y *Pleurotus ostreatus*. 96. Quito, Ecuador.

Pérez, A., Hermosa, R. y Monte, E. (2017). Actividades de biocontrol de *Trichoderma* Frente a ascomicetos fitopatógenos. *Farma Journal*, 2, 85-93.

Piedra, R. (Julio de 2012). Elementos para el diseño de un manejo integrado del nematodo fitoparásito *Globodera pallida* (Stone) en el cultivo de papa ”. *Tesis Doctorado*. Heredia, Costa Rica.

Quesada, R. (Agosto de 2007). Los Bosques de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias Exploraciones: Exploraciones fuera y dentro del aula, 1-16. Cartago, Costa Rica.

- Ramírez-Muñoz, F., Fournier-Leiva, M., Ruepert, C. y Hidalgo-Ardón, C. (2014). Uso de agroquímicos en el cultivo de papa en Pacayas, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 25, 339-345.
- Rivas, G., Martínez, D. y González, A. (30 de 09 de 2008). Control del "Mal del talluelo" en plántulas de aguacate (*Persea americana*), en la modalidad de viverista, aplicando *Trichoderma harzianum* (Bio-tric 15WP) en diferentes concentraciones. 47. El Salvador.
- Rivera, W. (Diciembre de 2009). Evaluación de la Resistencia y/o Tolerancia de 24 Variedades de Papa Nativas al Parasitismo del Nematodo del Quiste de la papa (*Globodera pallida*). En Invernadero Cutuglahua-Pichincha.2009. 85. Quito, Ecuador.
- Robertson, L. y Bello, A. (2009). *Globodera rostochiensis* y *G. pallida*. Recuperado el 07 de Julio de 2018, de sef.es: sef.es/descargar.php?ap=8&el=9%0A
- Romero-Cortés, T., López-Pérez, P. A., Ramírez-Lepe, M. y Cuervo-Parra, J. A. (2016). Modelado Cinético del Micoparasitismo por *Trichoderma harzianum* contra *Cladosporium cladosporioides* Aislado de frutos de cacao (*Theobroma cacao*). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 32, 32-45.
- Rosende, o., García, L. y Cabaleiro, C. (2003). Nematodos del género *Globodera* y alternativas de control en Galicia. *San. Veg. Plagas*, 29, 63-69.
- Ruano, B. (Noviembre de 1999). Evolución de las poblaciones de nematodos (*Globodera* spp.) En la patata en Mallorca. Recuperado el 2017 de Mayo de 2016, de caib.es: www.caib.es/fitxer/get?codi=37765
- Saifullah, S., & Khan, N. (Febrero de 2017). Low temperature scanning electron microscopic studies on the interaction of *Globodera rostochiensis* woll . and *Trichoderma harzianum* rifai low temperature scanning electron microscoping studies on the interaction of *globodera rostochiensis* woll. *Pakistan Journal of Botany*, 5.

Sanz-Bustillo, J., Lawrence, P. y Pérez, J. (1997). Uso de plaguicidas en la agroindustria de Costa Rica. Recuperado el 01 de Marzo de 2018, de incae.edu: <https://www.incae.edu/ES/clacds/publicaciones/pdf/cen708.pdf>

SENASICA De, Laboratorio Nacional Fitosanitaria, Referencia Epidemiológica. (2013). Nematodo dorado *Globodera rostochiensis*. Recuperado el 03 de Febrero de 2016, de cesaveson.com: <http://www.cesaveson.com/files/e6c2020a0f2b2dbb10d144881f4139d2.pdf>

Servicio Fitosanitario del Estado. (Mayo de 2015). Guía Técnica Nematodo Blanco del Quiste de la Papa (*Globodera pallida*. Stone). Recuperado el 16 de Mayo de 2016, de app.sfe.go.cr: https://app.sfe.go.cr/intranet/documentos/planes_de_accion/Guia_Tecnica_Globodera_Pallida.pdf

SIA; CNP. (3 de Abril de 2017). Análisis y Monitoreos de Mercados Papa. Recuperado el 25 de 07 de 2017, de simacr.go.cr: <https://simacr.go.cr/index.php/mercados-de-papa>

Silva, C. (2018). Biofumigación con brassicaceas para el control de nematodos en el cultivo de papa. *Universidad Técnica de Ambato*, 70. , Ecuador. Obtenido de repositorio.uta.edu.ec: [http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28114/1/Tesis-197 Ingeniería Agronómica -CD 576.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28114/1/Tesis-197%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20CD%20576.pdf)

Tencio, R. (Marzo de 2013). Información General de la Región Central Oriental. Recuperado el 31 de Mayo de 2016, de infoagro.go.cr: [http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Informacion General Region C Oriental 2013.pdf](http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Informacion%20General%20Region%20C%20Oriental%202013.pdf)

Termorshuizen, A., Korthals, G. y Thoden, T. (2011). Organic amendments and their influences on plant-parasitic and free-living nematodes: a promising method for nematode management? *Nematology*, 13, 133-153.

- Tovar, A. (Junio de 2006). El Nematodo Dorado de la Papa *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923; Behrens, 1975). *Tesis*. Coahuila, Mexico.
- Trifonova, Z. (2010). Studies on the efficacy of some bacteria and fungi for control of *Globodera rostochiensis*. *ournal of Agricultural Sciences, Belgrade*, 55, 37-44.
- Umamaheswari, R., Bairwa, A., Venkatasalam, E., Sudha, R. y Singh, B. (2015). Effect of biofumigation on potato cyst nematodes. *Potato Journal*, 42, 124-129.
- Vilca, R. C. (2013). Evaluación de tres cultivos para su uso como plantas trampa del nematodo del quiste de la papa *Globodera* spp. En invernadero. *Tesis*, 72. Perú.
- Zapałowicz, K. y Janowicz, K. (Junio de 2000). nfluence of saprophytic microorganisms and *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923) Skarbilovich, 1959 on physiological processes of tomato (*Solanum lycopersicum*). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 5408, 7.

8. ANEXO

Anexo 1. Análisis microbiológico realizado del suelo de la Estación Carlos Durán en Tierra Blanca de Cartago, específicamente en la zona en que se realizó el ensayo.



**INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA
AGROPECUARIA / INTA LABORATORIO SERVICIOS DE FITOPROTECCIÓN**
Telf: 2231-5055 Telf/fax: 2231-5004

Nº de Muestra: (17) 0387
Tipo de Servicio: Fitopatología Suelos
Cultivo: No indica
Fecha: 7/06/2017

Señor: Dr. Ricardo Piedra Naranjo / INTA
Material enviado: Suelo
Propietario del cultivo: Dr. Ricardo Piedra Naranjo / INTA
Codigo Exp: F20-17

LOCALIZACIÓN DE LA PROPIEDAD:

Provincia: Cartago Cantón: No indica Distrito: No indica

RESULTADO DEL EXAMEN:

Crecimiento positivo hongos: *Pythium sp*, *Phytophthora sp*, *Fusarium solani*, *Fusarium sp*, *Mucor sp*, *Trichoderma sp*.

Abundantes nematodos de vida libre.

SUGERENCIAS PARA PREVENIR Y/O COMBATIR LA ENFERMEDAD.

Los hongos *Pythium sp*, *Phytophthora sp*, *Fusarium solani* y *Fusarium sp*, pueden causar problemas al cultivo a sembrar o sembrado. Efectuar en forma preventiva tratamiento en drench con fungicidas tales como: benomyl + metaxil (3 grs + 3 grs / litro). El hongo *Trichoderma sp* podría ser un importante biocontrolador de los hongos fitopatógenos detectados.

LABORATORIO SERVICIOS DE FITOPROTECCIÓN

NOTA: El Dpto. no se hace responsable por el uso inadecuado de la sugerencia antes descrita
¡Tenga presente el uso adecuado de los agroquímicos en la protección del ambiente y la salud!

Anexo 2. Costos de producción del manejo convencional de la papa, con el precio dado en el 2016.

Costos de producción				
Producto	Cantidad	Unidad	Precio x L/paquete /unidad	Total
Compra de semilla	108	unidad	₡ 520	₡ 56,160
Subtotal				₡ 56,160
Nematicida				
Oncol	0.063	litro	₡ 13,500	₡ 851
Subtotal				₡ 851
Herbicida				
Sencor	0.018	litro	₡ 34,665	₡ 624
Subtotal				₡ 624
Fungicidas				
Acrobat	0.036	litro	₡ 21,215	₡ 764
Bioman	0.063	litro	₡ 3,360	₡ 212
Biozate (Genérico)	0.081	paquetes	₡ 4,500	₡ 365
Positron	0.036	litros	₡ 17,980	₡ 647
Previcur	0.072	litros	₡ 22,286	₡ 1,605
Odeon	0.216	litros	₡ 5,330	₡ 1,151
Agromar50wp benomil 500g	0.144		₡ 3,955	₡ 570
Agromar mancozeb m45	0.144	paquetes	₡ 3,235	₡ 466
Subtotal				₡ 5,778
Pega				
WK	0.108	litros	₡ 2,670	₡ 288
Subtotal				₡ 288
Bio-estimulante				
Agrispon	0.054	litro	₡ 10,430	₡ 563
Promicol	0.063	paquetes		₡ -
Subtotal				₡ 563

Fertilizantes y enmiendas				
Fertilizante 10-30-10	0.09	sacos	₡ 10,850	₡ 977
Fertilizante 20-20-20	0.036	sacos	₡ 44,950	₡ 1,618
Cal 56	0.036	Litros	₡ 18,000	₡ 648
Potasio	0.216	kilos	₡ 6,185	₡ 1,336
Sifol	0.036	litros		₡ -
Subtotal				₡ 4,579
Otros				
Bidaclor	0.036	litros		₡ -
Sal Inglaterra	0.072	kilos	₡ 2,550	₡ 184
Cosmo agua	0.036	Paquetes	₡ 540	₡ 19
SubTtotal				₡ 203
Costos totales				₡ 69,046

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Costos de producción del manejo Integrado de la papa, con el precio dado en el 2016.

Costos de producción				
Producto	Cantidad	Unidad	Precio x L/paquete /unidad	Total
Compra de semilla	108	unidad	₡ 520	₡ 56,160
Subtotal				₡ 56,160
<i>Trichoderma</i>	0.324	kilos	₡ 6,000	₡ 1,944
Subtotal				₡ 1,944
Herbicida				
Sencor	0.018	litro	₡ 34,665	₡ 624
Subtotal				₡ 624
Fungicidas				
Acrobat	0.036	litro	₡ 21,215	₡ 764
Bio-man	0.063	litro	₡ 3,360	₡ 212
Biozate (Genérico)	0.081	paquetes	₡ 4,500	₡ 365
Positron	0.036	litros	₡ 17,980	₡ 647
Previcur	0.072	litros	₡ 22,286	₡ 1,605

Odeon	0.216	litros	₡ 5,330	₡ 1,151
Agromar50wp benomil 500g	0.144		₡ 3,955	₡ 570
Agromar mancozeb m45	0.144	paquetes	₡ 3,235	₡ 466
Subtotal				₡ 5,778
Pega				
WK	0.108	litros	₡ 2,670	₡ 288
Subtotal				₡ 288
Bioestimulante				
Agrispon	0.054	litro	₡ 10,430	₡ 563
Promicol	0.063	paquetes		₡ -
Subtotal				₡ 563
Fertilizantes y enmiendas				
Fertilizante 10-30-10	0.09	sacos	₡ 10,850	₡ 977
Fertilizante 20-20-20	0.036	sacos	₡ 44,950	₡ 1,618
Cal 56	0.036	Litros	₡ 18,000	₡ 648
Potasio	0.216	kilos	₡ 6,185	₡ 1,336
Sifol	0.036	litros		₡ -
Subtotal				₡ 4,579
Otros				
Bidaclor	0.036	litros		₡ -
Sal Inglaterra	0.072	kilos	₡ 2,550	₡ 184
Cosmo agua	0.036	Paquetes	₡ 540	₡ 19
Subtotal				₡ 203
Costos totales				₡ 70,140

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Costos de preparación del terreno para ambos tratamientos (integrado y convencional) con la hora paga al año 2016.

Costos de preparación del terreno				
Actividad	N° de personas	N° de jornales	Costo por jornal	Total
Arada	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Rotada	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Surcada	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Total		0.432		₡ 4,174

Anexo 5. Costos de mano de obra para el manejo convencional. Precios de jornal dados al año 2016.

Costos de Mano de Obra				
Actividad	n° de trabajadores	Jornales	Costo del jornal	Total
Aplicación de nematicida	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Aplicación herbicida	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Siembra	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Aplicación de fungicida	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Aplicación de fungicida	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Aplicación de bio-estimulantes	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Fertilización y enmiendas	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Aporca	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Cosecha	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Total		1.296		₡ 12,523

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6. Costos de mano de obra para el manejo integrado. Precios de jornal dados al año 2016.

Costos de Mano de Obra				
Actividad	n° de trabajadores	Jornales	Costo del jornal	Total
Aplicación de <i>Trichoderma</i>	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Aplicación herbicida	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Siembra	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Aplicación de fungicida	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Aplicación de fungicida	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Aplicación de bio-estimulantes	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Fertilización y enmiendas	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Aporca	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Cosecha	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Recolección de aporco	1	0.144	₡ 9,663	₡ 1,391
Total		1.296		₡ 13,915

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Medias y probabilidades de los muestreos de quistes. Medias y probabilidades de los seis muestreos de la variable quistes en ambos tratamientos. Estación Experimental Carlos Durán. Tierra Blanca de Cartago. 2017.

Quistes						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Integrado	34.3	26.33	86.33	99.67	32.33	60.67
Convencional	18.67	24.33	84.33	130.0	61.0	95.67
Probabilidad	0.4725	0.9265	0.9265	0.1704	0.1942	0.1167

*Valores de probabilidad menores a 0.05 presentan resultados significativos.

Anexo 8. Medias y probabilidades de los muestreos dadas para larvas y huevos por gramo de suelo. Medias y probabilidades de los seis muestreos en larvas y huevos por gramo de suelo en ambos tratamientos. Estación Experimental Carlos Durán. Tierra Blanca en Cartago.2017.

Larvas y huevos por g de suelo						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Integrado	17.0	10.33	73.0	80.67	22.33	24.67
Convencional	14.0	8.33	21.33	83.67	41.33	42.33
Probabilidad	0.9063	0.9364	0.0516	0.9063	0.4585	0.903

*Valores menores a 0.05 presentan resultados significativos.