



CRIA Occidente
Cadena de papa

Rendimiento y resistencia de cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) a la infección del nematodo dorado. (*Globodera rostochiensis* Woll Behrens).

Osman Cifuentes
Aroldo García
Eleonora Ramírez
Esther García
Marcony Méndez

Guatemala, diciembre de 2018

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). El contenido de esta publicación es responsabilidad de sus autores y de las instituciones a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implican la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Se extiende el agradecimiento al consejo de la papa de los Estados Unidos de América (USPB) y a la empresa SEMECA S.A. por su apoyo para la realización de este proyecto.

Contenido

Resumen	9
ABSTRACT.....	10
1. Introducción	11
2. Marco teórico	12
2.1 Antecedentes de la afección de nematodos en el cultivo de papa en Guatemala.....	12
2.2 Nematodos del quiste de la papa	12
2.3 Genes de Resistencia al nematodo dorado.....	13
2.4 Nematodo dorado o nemátodo del quiste.....	13
2.5 Características morfológicas	13
2.6 Ciclo de vida	14
2.7 Síntomas.....	14
2.8 Ecología y distribución	15
2.9 Importancia económica de la plaga.....	15
2.10 Impacto económico de la plaga.....	16
2.11 Control de la plaga a través del uso de variedades resistentes	17
2.12 Naturaleza de la resistencia	17
2.13 Fuentes de resistencia	18
2.14 Evaluación de resistencia en tubérculos.....	18
2.15 Prueba en campo.....	19
2.16 Muestreo.....	20
3. Objetivos.....	23
3.1 Objetivo General	23
3.2 Objetivos Específicos:.....	23

4. Hipótesis	23
5. Metodología	24
5.1 Primer Ciclo	24
5.2 Segundo Ciclo: Año 2017	26
6. Resultados	29
6.1 Rendimiento de tubérculos	29
6.2 Resistencia y tolerancia a la infección de Globodera. Rostochiensis.....	41
7. Conclusiones:	46
8. Recomendaciones	47
9. Revisión Bibliográfica	48
10. Anexos	50

Índice de cuadros

Cuadro 1 Pruebas, criterios y parámetros considerados por el CIP, en las evaluaciones de resistencia (en campo)	20
Cuadro 2 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de primera calidad (t/ha) en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.....	29
Cuadro 3 Análisis de Discriminación de medias por el método DGC del rendimiento de tubérculos de primera calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.....	29
Cuadro 4 Análisis de Varianza al rendimiento de tubérculos de segunda calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango	31
Cuadro 5 Análisis de Discriminación de medias por el método DGC al rendimiento de tubérculos de segunda calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango	31
Cuadro 6 Análisis de Varianza al rendimiento de tubérculos de tercera calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango	32
Cuadro 7 Análisis de Varianza al rendimiento de tubérculos de cuarta calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango	32
Cuadro 8 Análisis de Varianza al rendimiento total de tubérculos en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango	33
Cuadro 9 Análisis de discriminación de medias por el método DGC al rendimiento total de tubérculos en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.....	33
Cuadro 10 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de primera calidad (t/ha) en Palestina de los Altos, Quetzaltenango	34
Cuadro 11 Análisis de discriminación de medias por el método DGC del rendimiento de tubérculos de primera calidad en Palestina de los Altos, Quetzaltenango	34
Cuadro 12 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de segunda calidad (t/ha) en Palestina de los Altos, Quetzaltenango	35
Cuadro 13 Análisis de discriminación de medias por el método DGC del rendimiento de tubérculos de segunda calidad en Palestina de los Altos, Quetzaltenango.....	35
Cuadro 14 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de tercera calidad (t/ha) en Palestina de los Altos, Quetzaltenango	36
Cuadro 15 Análisis de varianza del rendimiento total de tubérculos (t/ha) en Palestina de los Altos, Quetzaltenango.....	36

Cuadro 16 Análisis de discriminación de medias por el método DGC al rendimiento total de tubérculos en Palestina de los Altos, Quetzaltenango	37
Cuadro 17 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de primera calidad (t/ha) en San Juan Ixcoy, Huehuetenango	37
Cuadro 18 Análisis de discriminación de medias por el método DGC del rendimiento de tubérculos de primera calidad en San Juan Ixcoy, Huehuetenango	38
Cuadro 19 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de segunda calidad (t/ha) en San Juan Ixcoy, Huehuetenango	38
Cuadro 20 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de tercera calidad (t/ha) en San Juan Ixcoy, Huehuetenango	39
Cuadro 21 Análisis de Discriminación de medias por el método DGC del rendimiento de tubérculos de tercera calidad en San Juan Ixcoy, Huehuetenango	39
Cuadro 22 Análisis de varianza del rendimiento total de tubérculos (t/ha) en San Juan Ixcoy, Huehuetenango.....	40
Cuadro 23 Análisis de discriminación de medias por el método DGC del rendimiento Total de tubérculos en San Juan Ixcoy, Huehuetenango.....	40
Cuadro 24 Análisis de varianza del número de quistes adheridos a la raíz en los diferentes genotipos en Palestina de los Altos, Quetzaltenango	41
Cuadro 25 Análisis de discriminación de medias por el método DGC del número de quistes adheridos a la raíz en los diferentes genotipos en Palestina de los Altos, Quetzaltenango	42
Cuadro 26 Análisis de varianza del peso promedio de los tubérculos de los diferentes genotipos de papa	44
Cuadro 27 Análisis de discriminación de medias por el método DGC al peso promedio del tubérculo de los diferentes genotipos de papa	44

Índice de figuras

Gráfico 1 Análisis de discriminación de medias por el método Di Rienzo, Guzman y Casanoves (Valdano y Di Rienzo, 2007) al rendimiento de tubérculos de primera calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango	30
Gráfico 2 Análisis de discriminación de medias por el método DGC al número de quistes adheridos a la raíz en diferentes cultivares de papa	43

Siglas y Acrónimos

CIALO	Centro de Investigación del Altiplano Occidental
CUNOC	Centro Universitario de Occidente
CRIA	Consortios Regionales de Investigación Agropecuaria
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América
USPB	USA Potato Board

Rendimiento y resistencia de cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) a la infección del nematodo dorado. (*Globodera rostochiensis* Woll Behrens).

Resumen

Osman Cifuentes¹; Aroldo García²; Eleonora Ramírez³; Esther García⁴; Marcony Mendez⁵

Los rendimientos de papa han disminuido drásticamente en zonas de producción del occidente de Guatemala. La causa de este problema es la infección del nematodo dorado de la papa (*Globodera rostochiensis* Well), ya que los muestreos realizados en este estudio reportaron poblaciones de esta plaga superiores a 210 quistes por 100 gramos de suelo. Las variedades de papa actualmente utilizadas en la zona son Día 71 y Loman, que no han mostrado resistencia a este nematodo. Así mismo, se han realizado otros estudios para disminuir las poblaciones de nematodos por medios químicos y mecánicos, pero no han sido efectivos. Por lo que se planteó el presente estudio cuyo objetivo es determinar si alguna nueva variedad de papa muestra resistencia genética al nematodo dorado y presenta rendimientos superiores a 20 t/ha. Para este estudio se utilizaron variedades portadoras del gen H1, que en Estados Unidos y Europa han mostrado resistencia a la raza 1 del nematodo dorado. Se realizaron dos muestreos de nematodos en el suelo, tomados al inicio y al final del ciclo del cultivo para determinar la tasa de multiplicación y la resistencia se midió a partir de conteos de hembras adheridas a las raíces. Los resultados mostraron que se identificó al clon ICTA 6014 como el genotipo de papa que presentó un rendimiento de tubérculos estadísticamente superior a los otros cultivares, así como la variedad Alegría^R que presentó igualdad de rendimiento al clon ICTA 6014 y superioridad al resto de las variedades en la sierra de los Cuchumatanes en departamento de Huehuetenango. Se determinó que las variedades Granola^R y Atlantic^R presentaron resistencia a la infestación de raíces de *G. rostochiensis* y el clon ICTA 6014 presentó la mejor tolerancia de los genotipos de papa evaluados, por medio de la respuesta en el rendimiento por calidades y el mayor tamaño de tubérculos a pesar de poseer una resistencia parcial a la infestación de *G. rostochiensis*.

(1) Coordinador del Programa de Hortalizas, ICTA. Guatemala.

(2) Investigador Asociado del Programa de Hortalizas, ICTA. Guatemala.

(3) Investigador Asociado de la disciplina de Biotecnología, ICTA. Guatemala.

(4) Investigador Auxiliar USAC-CUNOC

(5) Investigador Auxiliar USAC-CUNOC

ABSTRACT

Potato yields have declined drastically in production areas of western Guatemala. The cause of this problem is the infection of the potato golden nematode (*Globodera rostochiensis* Well), since the samplings carried out in this study reported populations of this pest exceeding 210 cysts per 100 grams of soil. The potato varieties currently used in the area are Day 71 and Loman, which have not shown resistance to this nematode. Likewise, other studies have been carried out to reduce nematode populations by chemical and mechanical means, but they have not been effective. This is what the present study was designed to determine if any new potato variety shows genetic resistance to the golden nematode and presents yields above 20 t / ha. For this study, carrier strains of the H1 gene were used, which in the United States and Europe have shown resistance to race 1 of the golden nematode. Two nematode samples were taken in the soil, taken at the beginning and at the end of the crop cycle to determine the multiplication rate and the resistance was measured from counts of females attached to the roots. The results showed that the ICTA 6014 clone was identified as the potato genotype that showed a tuber yield statistically superior to the other cultivars, as well as the variety Alegría^R that presented equality of yield to clone ICTA 6014 and superiority to the rest of the varieties in the mountain range of the Cuchumatanes in the department of Huehuetenango. It was determined that the Granola^R and Atlantic^R varieties showed resistance to the infestation of roots of *G. rostochiensis* and the clone ICTA 6014 presented the best tolerance of the evaluated potato genotypes, by means of the response in the yield by qualities and the bigger size of tubers despite having partial resistance to the infestation of *G. rostochiensis*.

1. Introducción

En octubre del 2001, la Secretaría de Industria y Comercio de Honduras y El Salvador prohibió el acceso temporal de papa procedente de Guatemala, debido a la posible presencia del nematodo dorado de la papa, *Globodera rostochiensis* Woll Behrens, lo que afecta la economía de los productores, exportadores y del país en general al colocarlo en la lista de países con presencia de *G. Rostochiensis* (Rivas 2005). En el 2001 los servicios agro sanitarios de Honduras hicieron suponer que la papa procedente de Guatemala está infectada con el “nematodo dorado” *Globodera rostochiensis* W., por lo que cerraron temporalmente las fronteras a la exportación este cultivo, mientras que El Salvador y Nicaragua reciben el producto bajo estrictas medidas sanitarias, lo que trae como consecuencia que los productores nacionales tengan pérdidas económicas (Rivas 2005).

La producción de papa en Guatemala se ha visto afectada en los últimos años, por la presencia de nematodos formadores de quiste. No se ha determinado con exactitud las pérdidas del cultivo por la presencia de nematodos en Guatemala. Sin embargo, Tovar (2005) reporta que en México ocasionan pérdidas entre el 40 y el 80 %, dependiendo de la población de los mismos en el suelo y la susceptibilidad de la variedad.

En Guatemala no se conoce que existan variedades resistentes o tolerantes a los nematodos formadores de quiste en el cultivo de papa. Sin embargo, la Universidad de Cornell, en Estados Unidos ha producido una serie de variedades de papa con resistencia a *Globodera sp.* Ro. 1, de las cuales el ICTA en cooperación con FEDECOAG introdujo siete cultivares a Guatemala. Así mismo, se han realizado introducciones del INIA de Chile y del Comité de la papa de los Estados Unidos clones y variedades que también cuentan con esta característica.

Sin embargo, las variedades de papa generadas bajo otras condiciones de clima, suelo y latitud, no siempre presentan una adaptación adecuada a las condiciones de Guatemala. Por lo que es necesario evaluar la adaptación de las nuevas variedades a las condiciones agro climáticas de las zonas productoras del país.

El proyecto se dividió en dos fases: en la primera fase se realizó un incremento de semilla de las variedades con características de resistencia al nematodo dorado, y en una segunda fase se realizaron evaluaciones de rendimiento y resistencia en campos de productores con infestación del nematodo.

2. Marco teórico

2.1 Antecedentes de la afección de nematodos en el cultivo de papa en Guatemala.

García, citado por Rivas (2005) realizó un estudio exploratorio sobre la presencia de los nematodos de quiste en los departamentos de Quetzaltenango, Sololá, Chimaltenango y Totonicapán. Más recientemente Salguero, citado por Rivas (2005) realizó un estudio denominado “Determinación de la presencia de nematodos de quiste asociados al cultivo de papa *Solanum tuberosum* L. en el municipio de Patzicia, Chimaltenango. Luego, Blanco citado por Cifuentes (2014) realizó una investigación denominada “Determinación de la presencia del nematodo dorado *Globodera rostochiensis* Woll. y otros nematodos de quiste de la sub-familia Heteroderinae. El año 2015, Morales, citado por Cifuentes (2014), reporto la presencia de *Globodera rostochiensis* en los departamentos de Quetzaltenango, San Marcos y Huehuetenango.

2.2 Nematodos del quiste de la papa

Los nematodos del quiste de la papa son considerados como la plaga más importante de este cultivo, en las áreas de clima frío y templado (Smith et al citados por Rivas, 2015). Setenta especies de nematodos han sido señaladas en el cultivo de la papa. Sin embargo, los formadores de quistes, *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens y *G. pallida* Behrens, son considerados los más dañinos y afectan el rendimiento de este cultivo en la mayoría de las zonas paperas del mundo. Debido a la coloración amarilla de las hembras, *G. rostochiensis* es conocido también como el nematodo dorado de la papa. (Rivas 2005)

Ensayos realizados en Europa han determinado que el límite de tolerancia de la papa a los nematodos formadores de quistes es de aproximadamente 1.9 huevos/g de suelo. El rendimiento de la papa puede ser reducido entre 20 y 50% cuando el nivel poblacional del nematodo en el suelo alcanza 16 y 32 huevos/g de suelo, respectivamente. El cultivo puede ser destruido completamente cuando la población inicial del nematodo es de 64 huevos/g de suelo. (Greco y Seinshor,t citados por Rivas 2005)

2.3 Genes de resistencia al nematodo dorado

Los mejoradores de papa de Estados Unidos y Europa han utilizado como fuente de resistencia al nematodo del quiste de la papa *Globodera rostochiensis* al gen H1, que fue descubierto en 1948 de la entrada C.P.C. 1673, de la colección británica de especies de *Solanum tuberosum* sub especie indígena. (Bakker et al, citados por Van Bossen 2001)

2.4 Nematodo dorado o nemátodo del quiste

El nemátodo dorado (*Globodera rostochiensis* Woll Behrens) se encuentra en el suelo, en los pelos radicales de las raíces de la planta, los daños causados a las raíces hacen que la planta enferma muestre síntomas parecidos a los provocados por la falta de agua, el follaje se vuelve amarillento y si las poblaciones son elevadas, la planta puede detener su desarrollo y morir prematuramente, mostrando una proliferación de raíces laterales (MAGA, 2015).

Las hembras adultas se adhieren a las raíces y al morir se vuelven quistes de color dorado que protegen los huevos. Los quistes pueden sobrevivir 20 años, la diseminación se realiza por el movimiento de suelo infestado que se adhiere a la maquinaria agrícola, a las semillas (tubérculos) o a envases para almacenaje que se llevan de zonas infestadas (MAGA, 2015).

2.5 Características morfológicas

El nemátodo del quiste (*Globodera rostochiensis* Woll Behrens) se caracteriza porque las hembras inicialmente son de color blanco amarillento posteriormente las hembras en proceso de enquistarse adquieren un color dorado (OIRSA, 2015).

Quiste: contienen los huevos y están formados por una cutícula endurecida formada por el cuerpo de la hembra. Son de forma globosa, miden excluyendo el cuello $445 \pm 50 \mu\text{m}$ de largo por $382 \pm 61 \mu\text{m}$ de ancho en promedio; la circumfenestra mide $18.8 \pm 2.2 \mu\text{m}$; el número de líneas cuticulares entre la vulva y el ano van de 17 a 24; el radio de Granek va de 3.0 a 4.5. Capa sub-cristalina ausente (OIRSA, 2015).

Juveniles: el largo del cuerpo en promedio es de $468 \mu\text{m}$, son vermiformes con anillos bien definidos. Campo lateral con cuatro incisuras, aerolación ausente. Cabeza con 4 a 6 anillos. Esqueleto cefálico fuertemente esclerotizado. Estilete bien desarrollado $22 \pm 0.7 \mu\text{m}$ de largo, con prominentes nódulos redondeados. Cola $43.9 \pm 11.6 \mu\text{m}$ de largo en promedio, refugian hialina $27 \pm 1.8 \mu\text{m}$ de largo (OIRSA, 2015).

Machos: cuerpo vermiforme con anillos cuticulares prominentes. Esqueleto cefálico fuertemente esclerotizado. Estilete fuerte a igual que los nódulos basales. Campo lateral con cuatro incisuras. Poro excretor posterior al hemizonidio. Bursa ausente. Espículas

ligeramente arqueadas, con puntas redondeadas. Cola corta variable en longitud (OIRSA, 2015).

2.6 Ciclo de vida

Ambas especies de nemátodos son endoparásitos sedentarios, con marcado dimorfismo sexual. Las hembras maduras son esféricas, mientras que los machos son vermiformes. Al alcanzar la madurez la cutícula de las hembras se oscurece por los taninos, formando lo que se conoce como quiste, el cual contiene más de 400 huevos, los cuales en presencia de exudados del hospedante, se induce la eclosión de los juveniles, que va del 60 al 80 % o si no permanecen en estado de dormancia por periodos largo de tiempo; por que debe haber una sincronía entre el desarrollo del nemátodo y la presencia del hospedante para que no sea interrumpido el ciclo de vida del nemátodo (OIRSA, 2015).

La fase infectiva es el segundo estadio juvenil (J2), el cual al salir del huevo y encontrar al hospedante, penetra la raíz por la parte del área de crecimiento de la raíz. Se vuelve sedentario al pasar al tercer y cuarto estadio alimentándose del periciclo, de la corteza y de la endodermis de la raíz, al inyectar las secreciones de las glándulas esofágicas, estas provocan el crecimiento de las células formando el sincito o célula transformada compuesta de varios núcleos y un citoplasma denso y rico en corpúsculos celulares. Los machos en el cuarto estadio se convierten en forma alargada cilíndrica (vermiformes), mientras que las hembras incrementan su tamaño, rompen la superficie de la raíz y exponen sus cuerpos esféricos y su cabeza se mantiene dentro del tejido de la raíz, al principio son de color blanco y por la atracción a los machos, ocurre la reproducción sexual y es la fase de la producción de huevos, dentro de los cuales ocurre el desarrollo pos embrionario hasta formarse dentro del huevo los J2; cada quiste contiene de 200 a 500 huevos, en ausencia del hospedante se mantienen en dormancia y esta fase puede durar hasta 20 años. En presencia del hospedante ocurre la eclosión del J2 y el ciclo comienza de nuevo. La temperatura óptima para el desarrollo de los nemátodos formadores de quiste de la papa es de 20-25 °C para *G. rostochiensis* y de 15-20 °C para *G. pallida*, el ciclo de vida a temperatura optima de 18 °C, dura de 36 a 48 días. (OIRSA, 2015)

2.7 Síntomas

La sintomatología a nivel de campo en el cultivo de papa se evidencia con la presencia de manchones en el cultivo que se extiende con el tiempo hasta generalizarse al total de la parcela y que puede ser confundida con un exceso de herbicidas, fito-toxicidad, falta de fertilización, etc (SAGARPA, 2013).

El nematodo dorado ataca las raíces de las plantas hospedantes; éstas muestran síntomas consistentes con pudrición de raíz o alteración vascular. Las partes aéreas de la planta muestran un retraso en el crecimiento, aspecto débil, además de una leve clorosis y marchitez. Las plantas dañadas severamente nunca emergen o mueren poco tiempo después de hacerlo. El sistema radical es muy reducido, las raíces son pequeñas, fibrosas. Cuando las raíces presentan un alto grado de infección, se observan los signos (hembras blancas o quistes maduros) adheridos a ellas (SAGARPA, 2013).

Los tubérculos son reducidos en tamaño y número. Es importante mencionar que la sintomatología antes mencionada se logra evidenciar cuando se han alcanzado altos niveles poblacionales del nematodo, sin embargo; la ausencia de manchones o presencia de quistes en las raíces no indica que el nematodo no esté presente por lo que es necesario el muestreo de suelo (SAGARPA, 2013).

2.8 Ecología y distribución

La mayoría de nemátodos fito-patógenos viven parte de su vida en el suelo. La mayor parte de ellos vive libremente en el suelo, alimentándose superficialmente de las raíces y tallos subterráneos de las plantas, pero aún en el caso de los nematodos sedentarios especializados, los huevecillos, las etapas larvarias pre parásitas y los machos se encuentran en el suelo durante toda su vida o gran parte de ella. La temperatura, humedad y aireación en el suelo afectan a la supervivencia y al movimiento de los nematodos en el suelo. Los nematodos se encuentran con mayor abundancia en la capa de suelo comprendida entre los 0 y 15 cm de profundidad. La mayor concentración de nematodos en la región radical de la planta hospedante se debe principalmente a su más rápida reproducción cuando el alimento es abundante y también a la atracción que tienen por las sustancias liberadas en la rizosfera (Agrios, G. 1998).

2.9 Importancia económica de la plaga

Se considera una fuerte limitante para la producción agrícola ocasionando pérdidas económicas de consideración en las regiones donde se encuentra presente. La importancia radica en el alto índice de reproducción, la capacidad de permanecer viable en el suelo hasta por tres décadas en ausencia del hospedante y a la facilidad de ser dispersado a través del suelo adherido a implementos agrícolas y material propagativo. Las hembras adultas de este nemátodo tienen la capacidad de formar un estado de resistencia conocido como quiste característico que hace que estos nematodos sean altamente persistentes en el suelo. *G. rostochiensis* forma parte de los principales problemas fitosanitarios de la papa a nivel mundial considerándose una amenaza en la producción de este cultivo (SAGARPA, 2013).

2.10 Impacto económico de la plaga

El nemátodo enquistador de la papa es la plaga más importante en el cultivo de papa en áreas con bajas temperaturas. El daño se relaciona con el número de huevos por unidad de suelo y se refleja en el peso del tubérculo producido. Varias infestaciones con *G. rostochiensis* y *G. pallida* pueden dar como resultado un menor rendimiento de la planta (SAGARPA, 2013).

A bajas densidades poblacionales las plantas y tubérculos que se producen son de tamaño pequeño, mientras que a densidades poblacionales altas el tamaño de los tubérculos se reduce severamente. Cuando en suelo se tiene de 8 a 64 huevos por gramo las pérdidas de la producción varían del 20 al 70 %. El límite máximo de huevos /gr de suelo para *G. rostochiensis* y *G. pallida* es de 1.2 a 2.1 (OIRSA, 2015).

El impacto se manifiesta en repercusiones socioeconómicas que se traduce en los siguientes

puntos: 1) disminución del rendimiento, 2) altos costos en el control, manejo, erradicación, etc., 3) disminución de la rentabilidad de los campos afectados por este patógeno, 4) restricción o cierre de mercados y 5) restricciones cuarentenarias impuestas al país con presencia del nemátodo (SAGARPA, 2013).

Hay dos tipos de pérdidas relacionadas con infestaciones de nemátodos:

a. Pérdidas directas: pueden ser grandes aun sin que se vean signos de infestación con nemátodos del quiste. Pueden ocurrir pérdidas de hasta 15 % en cultivos que no muestran síntomas aéreos. El rendimiento puede reducirse en dos toneladas por hectárea cuando la infestación se aumenta en 20 huevos por gramo de suelo. Podría llegarse al caso de cosechar menos tubérculos que los sembrados (Franco, J. 1986).

b. Pérdidas indirectas: es muy difícil erradicar los nemátodos del quiste que se establezcan en un área. La rotación de cultivos para reducir las poblaciones de nematodos es prolongada y equivale a no cultivar papa durante varios años en el mismo terreno. El control químico es costoso, peligroso y no es completamente efectivo. Las cuarentenas nacionales para controlar la dispersión de la peste se convierten a menudo en una restricción de la producción tanto de papa para consumo como para semilla (Franco, J. 1986).

2.11 Control de la plaga a través del uso de variedades resistentes

Las variedades de papa resistentes al nemátodo de quiste de la papa, son una buena alternativa para controlar esta plaga, dado que impiden que el nemátodo se reproduzca en las raíces de la papa. El uso de variedades resistentes no significa costos adicionales para el agricultor y evitan o reducen el contacto con nematicidas que influyen negativamente sobre el ambiente, el usuario o el consumidor del producto cosechado (Huijsman, C. 1960).

Resistencia

A diferencia de otras disciplinas de sanidad vegetal y aun de nematología, el concepto de resistencia al nemátodo del quiste de la papa se define como la capacidad o el atributo de una planta de papa de impedir en forma total o parcial la multiplicación del nemátodo. Como resultado de esta acción las poblaciones iniciales de nemátodos, es decir, las que se encuentran en el suelo antes de un cultivo de papa, disminuirán o no se incrementarán en forma tan intensa como luego de emplearse una planta susceptible (Franco, Gonzáles y Matos, 1990).

Tolerancia

Tolerancia es la capacidad de la planta -en este caso de papa para producir no obstante encontrarse en un suelo infestado- en este caso con nemátodos. Puede ocurrir tanto en variedades resistentes como en variedades susceptibles. Es, pues, independiente de la resistencia. Las plantas intolerantes producen menos. Las variedades tolerantes tienen la capacidad de recuperarse del daño que causan los nemátodos (Franco, J. 1986).

2.12 Naturaleza de la resistencia

Bajo el estímulo de un exudado de la raíz, el segundo estado juvenil de los nemátodos del quiste de la papa eclosiona, y emerge de los quistes. Durante el desarrollo siguiente, las hembras se vuelven sedentarias en las raíces. Las células radiculares que rodean la cabeza de cada hembra se agrandan y forman los sincitos o células de transferencia. Los sincitos son vitales para el desarrollo de la hembra, porque le suministran alimento, y también son un factor clave de los mecanismos de la resistencia varietal (Scurrah, M. 1981).

Aparte de la tolerancia, hay dos tipos de resistencia:

- ✓ Las raíces no exudan la sustancia que estimula la emergencia del segundo estado juvenil.
- ✓ Los sincitos no se forman o no funcionan como fuentes de alimento para la hembra del nemátodo (Scurrah, M. 1981).

En el segundo caso se presenta una gran ventaja: el segundo estado juvenil emerge ante el estímulo del exudado, pero no llega a completar su ciclo de vida. La densidad de población de los nemátodos se reduce drásticamente cuando se interrumpe su ciclo de vida. La reducción puede ser mayor que cuando se rota con un cultivo no hospedero o que cuando se deja la tierra en barbecho o descanso. La siembra de una variedad resistente puede ser tan efectiva como no sembrar papa durante 5 a 7 años en el mismo campo. Además, utilizar variedades resistentes es menos costoso para el agricultor que otras medidas de control, no perjudican al ambiente, ayuda a reducir el peligro de diseminación de los nemátodos, y a mantener la infestación dentro de niveles tolerables de daño (Scurrah, M. 1981).

Sincito o célula de transferencia: en el caso de compatibilidad genética entre los nemátodos y la planta de papa, la actividad de las hembras al alimentarse hace que en la raíz se formen grupos de células agrandadas llamadas sincitos. En las variedades resistentes puede ocurrir que no se formen los sincitos o que no funcionen como fuente de alimentos para la hembra del nemátodo (incompatibilidad) (Scurrah, M. 1981).

2.13 Fuentes de resistencia

Una forma más eficiente de trabajo es aprovechar las fuentes de resistencia que ya se conocen. Estas pueden ser variedades resistentes ya disponibles, o materiales avanzados provenientes de otros programas de mejoramiento como el del CIP. La evaluación de estos materiales por parte de los programas nacionales ayuda a identificar aquellos que muestren resistencia en las diversas condiciones ambientales de un país (Scurrah, M. 1981).

2.14 Evaluación de resistencia en tubérculos

Para la evaluación de material genético en forma de tubérculos en cuanto a resistencia al nemátodo del quiste de la papa hay varias pruebas que se pueden realizar bajo condiciones de laboratorio (recipiente cerrado y platos de Petri), invernadero (macetas) y campo. Todas estas pruebas de evaluación miden la reproducción del nemátodo en el material bajo estudio (Franco, Gonzáles y Matos, 1990).

Las pruebas de macetas y de platos Petri son las más precisas, mientras que las pruebas de campo son utilizadas mayormente para confirmar resistencia y estimar el valor agronómico y de adaptación de los clones o variedades (Franco, Gonzáles y Matos, 1990).

2.15 Prueba en campo

El objetivo de esta prueba es identificar o comprobar si la resistencia incorporada a variedades de papa es realmente efectiva en el lugar donde se ejecute la prueba, así como también para evaluar sus características agronómicas. Esta prueba, aunque bajo ciertas circunstancias es opcional, es muy importante porque su ejecución se lleva a cabo en un campo naturalmente infestado y no necesita instalaciones especiales. Con esta prueba, además de evaluar la resistencia de las variedades, se mide la tolerancia al ataque del nemátodo.

El diseño de campo que se escoja dependerá del número de tubérculos disponibles de cada variedad por someter a prueba. En todos los casos la uniformidad y severidad de la infestación del campo se determinan alternando en los diseños una variedad de papa susceptible con las líneas avanzadas por probar. Estas variedades susceptibles deberán ser las más comunes de la región donde se instale la prueba.

Esta prueba se refiere esencialmente a determinar si la reproducción del nemátodo es afectada por las variedades bajo prueba. Una forma de determinar el efecto de las variedades es por medio de la tasa de multiplicación. La otra forma, la más importante, es evaluar si la reproducción del nemátodo ha sido exitosa al cabo de 10 a 12 semanas después de la siembra.

En este caso al extraer cuidadosamente las plantas de papa se observará sobre las raíces de las variedades susceptibles numerosas hembras inmaduras. Por el contrario, en las raíces de aquellas variedades que se muestren resistentes, no se verá ninguna o solo se observará un número muy reducido de hembras. Para realizar esta prueba la única condición es disponer de un campo infestado. Esto se determina por la historia del campo y la toma de muestras del suelo o ambas cosas, las que se procesarán para determinar la presencia de quistes (mínimo 20 quistes viables/100 g de suelo). Además, se aplicarán los insumos normales de fertilización, prácticas culturales y productos fitosanitarios (Franco, Gonzáles y Matos, 1990).

Cuadro 1 Pruebas, criterios y parámetros considerados por el CIP, en las evaluaciones de resistencia (en campo).

Prueba	Criterio	Parámetro	Escala	Reacción*
Campo	Observación visual de hembras considerando desarrollo radicular.	Número de hembras sobre las raíces.	Ninguna = 0	R
			1-15 = 1	PR
			16-50 = 2	MS
			>50 = 3	S
*R= Resistente; PR= Parcialmente resistente; MS= Moderadamente susceptible; S= Susceptible.				

Fuente: Franco, Gonzales & Matos, 1990

2.16 Muestreo

El muestreo tiene como objetivo, obtener información veraz y económica de una población a estudiar, o de un parámetro de una parcela experimental. Así, también, se hace porque es menos destructivo en la modificación de los caracteres de interés (Maldonado, M. 2012). Al momento de realizar el muestro, es necesario considerar lo siguiente:

✓ Diseño del muestreo

Los nemátodos raramente están distribuidos de forma uniforme en el campo, y por tanto las muestras deben tomarse de varias zonas del campo. Recoger muestras por separado de zonas con crecimiento pobre y de zonas con crecimiento relativamente bueno donde estas diferencias sean obvias para poder compararlas. Seguir siempre el mismo procedimiento y modelo en la recogida de muestras durante los muestreos y experimentos para que las comparaciones entre campos, parcela, tratamientos, etc. tengan significado (Coyne, Nicol, y Claudius-Cole, 2007).

El procedimiento de muestreo puedes ser al azar o sistemático. El muestreo al azar no se adecua a la distribución natural del nematodo en manchas o parches y solo es representativo si el área de muestreo es pequeña. El muestreo sistemático representa un modo más estructurado de tomar muestras ya que considera la naturaleza del campo y la distribución del nemátodo (Coyne, Nicol, y Claudius-Cole, 2007).

✓ **Época de muestreo**

Muchas especies de nemátodos incrementan sus densidades poblacionales hasta alcanzar niveles altos durante la campaña del cultivo y éstas densidades poblacionales se reducen durante los periodos entre cultivos (estación seca). Por tanto, las muestras deberán tomarse idealmente a mitad de la campaña y/o al finalizar la cosecha con fines de diagnóstico (Coyne, Nicol, y Claudius-Cole, 2007).

✓ **Recolección de muestras de raíces**

Evitar tomar muestras de plantas muertas o aquellas que estén en avanzado estado de senescencia, ya que los nemátodos habrán emigrado de estas plantas a otras fuentes de alimento. En el caso de cultivos con escaso porte, todo el sistema radical de una planta puede constituir una sub-muestra. Arrancar la planta del suelo con sus raíces con la ayuda de una pala o azada de forma que al levantarlas raíces una porción considerable del sistema radical permanezca intacto y teniendo cuidado de no romperlas (Coyne, Nicol, y Claudius-Cole, 2007).

✓ **Transformaciones**

Se realizan cuando los datos obtenidos violan los supuestos del análisis de varianza, lo cual podría ocasionar que el investigador llegue a conclusiones que no tienen justificación (Little y Hills, 1991).

✓ **Supuestos del análisis de varianza**

a. Normalidad: indica que los términos de error son aleatorios, independientes y normalmente distribuidos; puede verificarse a través de la resta de los efectos de bloque y efectos de tratamiento a cada observación y la media de cada bloque y tratamiento deberá ser igual a la media general.

b. Homogeneidad de varianzas: indica que si las varianzas dentro de tratamientos diferentes, fuesen diferentes, no tendríamos justificación para combinarlas; puede verificarse a través de la prueba de Bartlett.

c. Independencia de varianzas: no debe existir una relación definida entre las medias de las muestras y sus varianzas, por ejemplo, que una incremente y por lo tanto incremente la otra; puede verificarse a través de la observación de las medias y las varianzas para notar que exista o no relación de una con el incremento o disminución de la otra.

d. Aditividad: para cada diseño experimental existe un modelo matemático denominado modelo lineal aditivo, el aspecto importante, que debe notarse en estos modelos es que los términos se suman, de ahí el término aditividad; puede verificarse a través de la prueba de Tukey.

✓ Transformación angular o arcoseno

Uno de los tipos de datos que pueden requerir transformación es el basado en conteos expresados como porcentajes o proporciones de la muestra total. Por regla general, tales datos tienen una distribución binomial, en vez de una distribución normal. Esta transformación se obtiene mediante la determinación del ángulo cuyo seno es la raíz cuadrada de la proporción (porcentaje/100). Expresada en notación matemática, ésta es arcoseno \sqrt{X} o seno⁻¹ \sqrt{X} (Little y Hills, 1991).

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

- Generar información sobre el comportamiento de genotipos de papa con resistencia a nematodos formadores de quiste, bajo las condiciones agroclimáticas de los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Huehuetenango.

3.2 Objetivos Específicos:

- Identificar el genotipo de papa que presente mayor potencial de rendimiento en suelos infestados con *Globodera rostochiensis*.
- Estimar la resistencia de los genotipos de papa a la infestación del nematodo dorado.
- Determinar la tolerancia de los genotipos de papa a la infestación de *Globodera rostochiensis*.

4. Hipótesis

Ho1 Los genotipos de papa con resistencia a nematodos presentan un rendimiento similar al testigo local.

Ho2 Los genotipos de papa no presentan resistencia *Globodera rostochiensis* bajo las condiciones de infestación del occidente de Guatemala.

Ho3 Los genotipos de papa no presentan tolerancia a *Globodera rostochiensis* bajo las condiciones de infestación del occidente de Guatemala.

5. Metodología

5.1 Primer Ciclo

Incremento de Semilla

Localización: Labor Ovalle, Quetzaltenango

Época: junio 2016 a febrero del 2017.

Genotipos: ICTA 6014, Alegría^R, Granola^R, Atlantic^R, Golden Globe^R, Sifra^R y

Testigo del productor

Área de Siembra:

- Semilla Elite (Plantas in vitro) 1,256 metros cuadrados bajo condiciones de invernadero.
- Semilla pre básica 100 tubérculos a campo abierto.

Procedimiento de incremento de semilla.

Micro propagación, propagación e incremento de semilla.

El proceso de micro propagación consistió en la multiplicación de las plántulas in vitro por medio de micro esquejes sembrados en medios de cultivo específicos y bajo condiciones de un cuarto de crecimiento en el Laboratorio de Biotecnología. Esta metodología permitió obtener un incremento rápido y masivo de los clones introducidos. La etapa concluye en un proceso de adaptación por medio de la siembra de las plántulas in vitro en pilones de peat moss, lo que permitió tener un mayor porcentaje de aclimatación a las condiciones de invernadero, esto se realizó de la siguiente manera:

Etapas I. Inicio de cultivo in vitro de micro esquejes

Los microesquejes se obtuvieron bajo condiciones asépticas, los propágulos se colocaron sobre la superficie del medio de cultivo previamente esterilizado y se trasladaron al cuarto de crecimiento por 4 semanas. El medio de cultivo que se utilizó fue Murashige y Skoog (MS). Las condiciones del cuarto de crecimiento fueron: Temperatura, 25 grados centígrados; fotoperiodo, 16 horas de luz y 8 de obscuridad.

Etapas II. Micropropagación (multiplicación masiva)

Se subcultiva las plantas provenientes de los microesquejes, en el medio de multiplicación (MS) hasta alcanzar el volumen de plantas requerido para cada uno de los materiales de papa.

Etapa III: Enraizamiento in vitro

El enraizamiento de las vitroplantas se realiza en el mismo medio de cultivo, sin la adición de fitohormonas sintéticas.

Etapa IV: Trasplante y adaptación a condiciones de invernadero

Cuando las plantas han alcanzado un tamaño de 4-6 cm y un buen desarrollo radicular, se realiza el trasplante a sustrato. Para esto, se utiliza un sustrato de peat moss, distribuido en bandejas múltiples de 200 celdas, que se usan para semilleros. Se extraen cuidadosamente las vitro plantas de los recipientes de cultivo, se lava bien cualquier residuo de agar y se procede a plantar una vitroplanta en cada agujero. Se dejan bajo condiciones de invernadero durante 12 a 14 días, realizando riegos periódicos para mantener suficiente humedad y evitar la deshidratación de las plántulas. Pasado este período de adaptación se procede a realizar la siembra en el invernadero definitivo para la producción de mini tubérculos.

Etapa V Producción de mini tubérculos e incremento de semilla básica.

El proceso de adaptación laboratorio- invernadero de las plántulas de papa exige que las condiciones sean bastante apropiadas para obtener el mayor porcentaje de plantas vivas después de la siembra. Por lo que en el ICTA se ha establecido el proceso de siembra en módulos hidropónicos de las plantas provenientes de laboratorio, así como siembra en suelo en invernaderos con sombra de sarán al 50% y riego por goteo de alta frecuencia RAF. En ambos casos, el manejo de las condiciones ambientales es crucial, principalmente el manejo de bajas y altas temperaturas por medio de la ventilación pasiva. La fertilización será a base de soluciones nutritivas específicas para el cultivo de la papa y en esta etapa de formación de tubérculos.

Los mini tubérculos cosechados fueron sometidos a un proceso de almacenamiento, aprovechando el reposo de las yemas vegetativas de los mini tubérculos, para seguidamente sembrar a campo abierto lotes de semilla para el incremento masivo de estos, para contar con suficiente material para propagación para futuras evaluaciones y para una primera evaluación de rendimiento y adaptación bajo las condiciones del Centro de Investigación del Altiplano CIALO.

5.2 Segundo Ciclo: Año 2017

Localización y época

- Labor Ovalle, Quetzaltenango.
- San Juan Ixcoy, Huehuetenango.
- Palestina, Quetzaltenango.
- San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.

Diseño Experimental

Bloques completos al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones.

Replicas: Tres

Tratamientos

ICTA 6014, Alegría, Granola, Atlantic, Golden Globe, Sifra y Testigo del productor (Huehuetenango, ICTAFRIT, Palestina)

Tamaño de la Unidad Experimental

10.8 metros cuadrados.

Parcela Bruta: 40 plantas.

Parcela Neta: 16 plantas.

Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Siendo:

Y_{ij} = Variable de respuesta de la ij-ésima unidad experimental.

μ = Media general.

T_i = Efecto del i-ésima variedad.

β_j = Efecto de j-ésimo bloque.

ϵ_{ij} = Error experimental.

Variables de respuesta:

- Rendimiento por calidades.
- Numero de tubérculos.
- Numero de quistes adheridos a la raíz.
- Numero de quistes en el suelo antes y después de la siembra.

Análisis de la información

Análisis estadístico:

- ANDEVA
- Prueba de Medias por DGC (Di Rienzo et al 2008)
- Análisis de Correlación multivariada.

Manejo del experimento

El manejo del experimento se realizó de acuerdo a las recomendaciones del programa de Hortalizas del ICTA para la conducción de ensayos.

Siembra: Se realizó con un distanciamiento de 0.90 metros entre surcos y 0.30 metros entre plantas, para una densidad de siembra de 37,037 plantas por hectárea. (3.7 plantas por metro cuadrado) y el manejo agronómico de acuerdo a las siguientes recomendaciones.

Actividad	Dosis	Observaciones
Fertilización Básica.	780 kg /ha de 15-15-15 4.16 t/ha de fertilizante orgánico.	70 gramos de 15-15-15 por metro lineal. 374 gramos de abono orgánico por metro lineal.
Aplicación fitosanitaria preventiva al momento de la siembra.	25 cc/16 litros de agua 25 cc/16 litros de agua 25 cc/16 litros de agua	Diazinon: Solo Propamocarb Mezclados Carbendazim
Aplicación fitosanitaria 8 días después de emergencia.	8 cc/16 litros de agua* 25 cc/16 litros de agua 50 cc/16 litros de agua 25 cc/16 litros de agua	Dimetomorf Thiacloprid, Beta-cyfluthrin Multimineral quelatado Adherente

Aplicación fitosanitaria preventiva (alterna)	2 copas/16 litros de agua.* 25 cc/16 litros de agua 50 cc/16 litros de agua 25 cc/16 litros de agua	Cymoxanil Thiacloprid, Beta-cyfluthrin Multimineral quelatado Adherente
Fertilización Nitrogenada al momento de la calza.	260 Kg/ha de urea.	25 gramos por metro lineal.

6. Resultados

6.1 Rendimiento de tubérculos

Cuadro 2 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de primera calidad (t/ha) en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	134,07	8	16,76	8,27	0,0007
Repetición	22,61	2	11,30	5,58	0,0193
Tratamiento	111,46	6	18,58	9,17	0,0007
Error	24,31	12	2,03		
Total	158,3820				

En el cuadro 3 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de primera calidad. Esta categoría está definida por tubérculos superiores a los 12 centímetros de longitud. El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos un genotipo presenta un rendimiento estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 3 Análisis de Discriminación de medias por el método DGC del rendimiento de tubérculos de primera calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
4,00	9,25	3	0,82	A
3,00	4,63	3	0,82	B
5,00	4,61	3	0,82	B
7,00	4,61	3	0,82	B
1,00	2,85	3	0,82	B
2,00	2,74	3	0,82	B
6,00	1,49	3	0,82	B

En el cuadro número cuatro se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de dos grupos. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos está formado por el clon ICTA 6014 y el segundo grupo por el resto de los tratamientos.

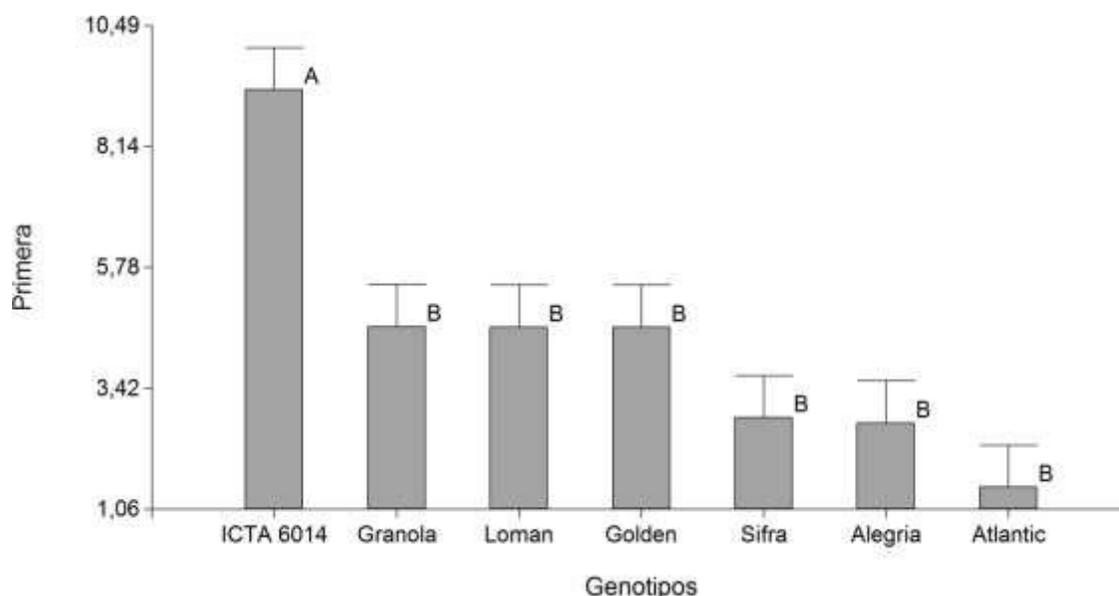


Gráfico 1 Análisis de discriminación de medias por el método Di Rienzo, Guzman y Casanoves (Valdano y Di Rienzo, 2007) al rendimiento de tubérculos de primera calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.

En la figura 1 se puede observar las diferencias estadísticas que se presentaron entre cada uno de los genotipos. La clara superioridad del rendimiento del clon ICTA 6014 es evidente para la primera calidad de tubérculos con un rendimiento de 9.25 t/ha a diferencia del cultivar Loman y Granola que presentaron un rendimiento medio de 4.63 t/ha, dato que representa un 100% menos de rendimiento que la del cultivar superior. La variedad Loman es el tratamiento testigo, ya que es el utilizado de forma generalizada por los productores de papa de esta región.

Es importante recordar que estos rendimientos son bajo condiciones de suelos infestados con quistes de nematodos de la especie *Globodera rostochiensis*.

Cuadro 4 Análisis de Varianza al rendimiento de tubérculos de segunda calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	122,03	8	15,25	8,27	0,0007
Repetición	8,76	2	4,38	2,37	0,1353
Tratamiento	113,27	6	18,88	10,23	0,0004
Error	22,14	12	1,84		
Total	144,17	20			

En el cuadro 5 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de segunda calidad. Esta categoría está definida por tubérculos entre ocho y 12 centímetros de longitud. Esta calidad no es tan importante como la anterior, ya que se comercializa a un menor precio que la primera calidad.

El análisis nos indica que existió diferencia altamente significativa entre tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos un genotipo presenta un rendimiento estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 5 Análisis de Discriminación de medias por el método DGC al rendimiento de tubérculos de segunda calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
4,00	7,94	3	0,78	A
5,00	7,64	3	0,78	A
3,00	7,21	3	0,78	A
7,00	6,15	3	0,78	A
1,00	3,55	3	0,78	B
2,00	2,68	3	0,78	B
6,00	1,97	3	0,78	B

En el cuadro número seis se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de dos grupos. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos está formado por el clon ICTA 6014, Golden Globe, Granola y Loman. y el segundo grupo por el resto de los

tratamientos. Las variedades Golden Globe y Granola son variedades con tolerancia a *Globodera rostochensis* R1 y la variedad Loman es el testigo del productor. Por lo que, en la calidad de segunda, el clon ICTA 6014 y el testigo del productor fueron similares estadísticamente.

Cuadro 6 Análisis de Varianza al rendimiento de tubérculos de tercera calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	36,02	8	4,50	2,58	0,0679
Repetición	5,40	2	2,70	1,55	0,2528
Tratamiento	30,62	6	5,10	2,92	0,0540
Error	20,98	12	1,75		
Total	57,00	20			

En el cuadro 7 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de tercera calidad. Esta calidad está definida por tubérculos entre cuatro y ocho centímetros de longitud. Esta calidad no es importante y al igual que la cuarta categoría no es comercializable y en el caso que lo sea el precio es muy inferior al de primera calidad.

El análisis nos indica que no existió diferencia estadística entre tratamientos, por lo que se acepta la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que, en esta categoría de tubérculos, todos los genotipos presentan un rendimiento estadísticamente similar.

Cuadro 7 Análisis de Varianza al rendimiento de tubérculos de cuarta calidad en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,05	8	0,88	2,15	0,1121
Repetición	0,13	2	0,07	0,16	0,8506
Tratamiento	6,92	6	1,15	2,81	0,0602
Error	4,92	12	0,41		
Total	11,97	20			

En el cuadro 8 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de cuarta calidad. Esta categoría está definida por tubérculos menores a cuatro centímetros de longitud. Esta calidad no es importante comercialmente, sin embargo, para los fines de este estudio si lo es, ya que la sintomatología de la infección de nematodos reporta disminución del tamaño de tubérculos. Sin embargo, el análisis no reporto diferencia estadística entre tratamientos, en cuanto a tubérculos menores de 4 centímetros.

Cuadro 8 Análisis de Varianza al rendimiento total de tubérculos en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	767,96	8	96,00	32,61	<0,0001
Repetición	3,91	2	1,96	0,66	0,5325
Tratamiento	764,05	6	127,34	43,25	<0,0001
Error	35,33	12	2,94		
Total	803,29	20			

En el cuadro 9 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento total de tubérculos. Esta calidad está definida por la sumatoria de las distintas categorías. El análisis muestra que existe diferencia altamente significativa entre tratamientos., por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que, en el rendimiento total de tubérculos, al menos un genotipo presenta un rendimiento estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 9 Análisis de discriminación de medias por el método DGC al rendimiento total de tubérculos en San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.

Tratamiento	Medias	N	E.E.	
4,00	20,71	3	0,99	A
3,00	17,62	3	0,99	B
7,00	16,15	3	0,99	B
5,00	15,62	3	0,99	B
1,00	8,02	3	0,99	C
2,00	6,91	3	0,99	C
6,00	3,18	3	0,99	D

En el cuadro número diez se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de cuatro grupos. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos está formado por el clon ICTA 6014, el segundo grupo por Golden Globe, Granola y Loman, el tercer grupo por Sifra y Alegría y el último grupo por la variedad Atlantic. Por lo que, en la categoría de rendimiento total, el clon ICTA 6014 y el testigo del productor fueron estadísticamente diferentes y con un delta de 4.56 t/ha, bajo las condiciones de un suelo infestado con quistes de nematodos.

Cuadro 10 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de primera calidad (t/ha) en Palestina de los Altos, Quetzaltenango.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	446,09	8	55,76	10,03	0,0003
Repetición	15,51	2	7,75	1,40	0,2852
Tratamiento	430,58	6	71,76	12,91	0,0001
Error	66,70	12	5,56		
Total	512,78	20			

En el cuadro 11 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de primera calidad. El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos un genotipo presenta un rendimiento estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 11 Análisis de discriminación de medias por el método DGC del rendimiento de tubérculos de primera calidad en Palestina de los Altos, Quetzaltenango.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
ICTA 6014	14,72	3	1,36	A
Sifra	3,26	3	1,36	B
Granola	3,12	3	1,36	B
Golden	2,56	3	1,36	B
Dia 71	1,90	3	1,36	B
Atlantic	1,72	3	1,36	B
Alegría	0,04	3	1,36	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En el cuadro número doce se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de dos grupos. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos está formado por el clon ICTA 6014 y el segundo grupo por el resto de los tratamientos.

Cuadro 12 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de segunda calidad (t/ha) en Palestina de los Altos, Quetzaltenango.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	64,02	8	8,00	15,16	<0,0001
Repetición	0,11	2	0,06	0,10	0,9013
Tratamiento	63,91	6	10,65	20,17	<0,0001
Error	6,34	12	0,53		
Total	70,35	20			

En el cuadro trece se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de segunda calidad. El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos un genotipo presenta un rendimiento estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 13 Análisis de discriminación de medias por el método DGC del rendimiento de tubérculos de segunda calidad en Palestina de los Altos, Quetzaltenango.

Tratamiento	Medias	N	E.E.	
ICTA 6014	7,62	3	0,42	A
Golden	4,97	3	0,42	B
Granola	4,62	3	0,42	B
Dia 71	4,56	3	0,42	B
Sifra	4,26	3	0,42	B
Atlantic	3,01	3	0,42	C
Alegría	1,47	3	0,42	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En el cuadro número catorce se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de cuatro grupos. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos está formado por el clon ICTA 6014, el segundo grupo por los genotipos Golden, Granola, DIA 71 y Sifra. Los genotipos Atlantic y Alegría presentaron los resultados más bajos en rendimiento de segunda calidad.

Cuadro 14 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de tercera calidad (t/ha) en Palestina de los Altos, Quetzaltenango.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	33,06	8	4,13	2,26	0,0977
Repetición	0,51	2	0,26	0,14	0,8708
Tratamiento	32,55	6	5,43	2,97	0,0512
Error	21,91	12	1,83		
Total	54,97	20			

En el cuadro 15 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de primera calidad. El análisis indica que no existió diferencia significativa entre tratamientos, por lo que no se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que los genotipos presentan un rendimiento de tercera calidad estadísticamente igual a los demás.

Cuadro 15 Análisis de varianza del rendimiento total de tubérculos (t/ha) en Palestina de los Altos, Quetzaltenango.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	990,39	8	123,80	71,75	<0,0001
Repetición	13,28	2	6,64	3,85	0,0512
Variedad	977,11	6	162,85	94,38	<0,0001
Error	20,71	12	1,73		
Total	1011,09	20			

En el cuadro 16 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de primera calidad. El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre

tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos un genotipo presenta un rendimiento estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 16 Análisis de discriminación de medias por el método DGC al rendimiento total de tubérculos en Palestina de los Altos, Quetzaltenango.

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
ICTA 6014	26,96	3	0,76	A	
Granola	12,12	3	0,76		B
Golden	11,99	3	0,76		B
Dia 71	11,59	3	0,76		B
Sifra	9,81	3	0,76		C
Atlantic	7,91	3	0,76		C
Alegria	3,04	3	0,76		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En el cuadro número diecisiete se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de dos grupos. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos está formado por el clon ICTA 6014, el segundo grupo está formado por los genotipos Granola, Golden y el testigo del productor DIA 71. El testigo del agricultor fue estadísticamente similar a las variedades Granola y Golden que son variedades resistentes a *G. rostochiensis*.

Cuadro 17 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de primera calidad (t/ha) en San Juan Ixcoy, Huehuetenango.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	570,01	8	71,25	6,24	0,0026
Variedad	476,24	6	79,37	6,95	0,0023
Repetición	93,77	2	46,89	4,11	0,0438
Error	137,05	12	11,42		
Total	707,06	20			

En el cuadro 18 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de primera calidad. El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos un genotipo presenta un rendimiento estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 18 Análisis de discriminación de medias por el método DGC del rendimiento de tubérculos de primera calidad en San Juan Ixcoy, Huehuetenango.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
ICTA 6014	18,42	3	1,95	A
Alegría	12,38	3	1,95	A
Granola	8,52	3	1,95	B
Atlantic	7,17	3	1,95	B
Golden	7,08	3	1,95	B
Sifra	4,17	3	1,95	B
ICTA Frit	3,67	3	1,95	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En el cuadro número diecinueve se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de dos grupos. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos está formado por el clon ICTA 6014 y el genotipo Alegría, y el segundo grupo por el resto de los tratamientos. La variedad Alegría no presentó rendimientos adecuados en las dos anteriores localidades, sin embargo, bajo las condiciones ambientales de los Cuchumatanes, presentó rendimientos de primera calidad iguales estadísticamente a los del clon ICTA 6014.

Cuadro 19 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de segunda calidad (t/ha) en San Juan Ixcoy, Huehuetenango.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	170,96	8	21,37	2,74	0,0567
Variedad	130,34	6	21,72	2,78	0,0621
Repetición	40,62	2	20,31	2,60	0,1153
Error	93,74	12	7,81		
Total	264,70	20			

En el cuadro 20 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de segunda calidad. El análisis indica que no existió diferencia significativa entre tratamientos, por lo que no se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que los genotipos presentan un rendimiento estadísticamente similar.

Cuadro 20 Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos de tercera calidad (t/ha) en San Juan Ixcoy, Huehuetenango.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	100,81	8	12,60	6,21	0,0026
Variedad	95,27	6	15,88	7,82	0,0014
Repetición	5,55	2	2,77	1,37	0,2918
Error	24,35	12	2,03		
Total	125,16	20			

En el cuadro 3 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de tercera calidad. El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos un genotipo presenta un rendimiento estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 21 Análisis de Discriminación de medias por el método DGC del rendimiento de tubérculos de tercera calidad en San Juan Ixcoy, Huehuetenango.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
ICTA Frit	8,85	3	0,82	A
Golden G.	3,72	3	0,82	B
Alegria	2,92	3	0,82	B
Granola	2,70	3	0,82	B
Atlantic	2,56	3	0,82	B
Sifra	2,08	3	0,82	B
ICTA 6014	2,07	3	0,82	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En el cuadro número veintidós se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de dos grupos. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos está formado por el clon ICTAfrit y el segundo grupo por el resto de los tratamientos. La variedad de papa ICTAfrit es la utilizada por el agricultor, sin embargo, no mostro mayor rendimiento en las categorías primera y segunda. En cambio, en la tercera calidad si mostro un rendimiento estadísticamente superior y diferente.

Cuadro 22 Análisis de varianza del rendimiento total de tubérculos (t/ha) en San Juan Ixcoy, Huehuetenango.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	973,02	8	121,63	4,24	0,0125
Variedad	812,83	6	135,47	4,73	0,0108
Repetición	160,19	2	80,10	2,79	0,1009
Error	344,05	12	28,67		
Total	1317,08	20			

En el cuadro 23 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento total de tubérculos. El análisis indica que existió diferencia significativa entre tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos un genotipo presenta un rendimiento estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 23 Análisis de discriminación de medias por el método DGC del rendimiento Total de tubérculos en San Juan Ixcoy, Huehuetenango.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
ICTA 6014	32,44	3	3,09	A
Alegria	25,82	3	3,09	A
ICTA Frit	25,22	3	3,09	A
Golden	22,24	3	3,09	A
Granola	19,62	3	3,09	A
Atlantic	18,80	3	3,09	A
Sifra	10,99	3	3,09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En el cuadro número cuatro se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de dos grupos. El segundo grupo e inferior estadísticamente al resto de los genotipos está formado por la variedad Sifra con un rendimiento de 11 t/ha y el segundo grupo por el resto de los tratamientos.

6.2 Resistencia y tolerancia a la infección de *Globodera Rostochiensis*.

Resistencia a *Globodera Rostochiensis*.

La resistencia de las variedades de papa está definida en primer lugar, por la capacidad que tienen las plantas de no permitir la infestación de las células radiculares por la hembra de globodera) o permitir la infestación, pero no el desarrollo de éstas dentro de sus células. Las células invadidas por una hembra y transformadas funcionalmente al servicio del nematodo se le denominan sincitos. El conteo de las hembras insertadas en los sincitos de la raíz de la papa es una de las metodologías utilizadas por el Centro Internacional de la Papa (CIP) para determinar la resistencia o susceptibilidad de las variedades a la infestación de este parasito.

Por lo que en esta investigación se contaron los quistes adheridos y por ser una variable no continua se transformaron los datos por medio de método de la raíz cuadrada al número de quistes. Por lo que se presentan los resultados de análisis de varianza en el cuadro No. 25.

Cuadro 24 Análisis de varianza del número de quistes adheridos a la raíz en los diferentes genotipos en Palestina de los Altos, Quetzaltenango.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6211,21	8	776,40	32,12	<0,0001
Repetición	6157,98	6	1026,33	42,45	<0,0001
Tratamiento	53,24	2	26,62	1,10	0,3639
Error	290,10	12	24,17		
Total	6501,31	20			

En el cuadro 25 se observa el ANDEVA realizado al número de quistes. El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos un genotipo presenta resistencia a *Globodera rostochiensis* en forma estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 25 Análisis de discriminación de medias por el método DGC del número de quistes adheridos a la raíz en los diferentes genotipos en Palestina de los Altos, Quetzaltenango.

Tratamiento	Medias	N	E.E.
Dia 71	50,00	3	A
Sifra	13,00	3	B
ICTA 6014	1,17	3	C
Alegria	1,00	3	C
Golden	0,67	3	C
Granola	0,00	3	C
Atlantic	0,00	3	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El cuadro 26 se presenta la discriminación de medias para la cantidad de quistes adheridos a la raíz y se observa que se formaron tres grupos, en donde el primer grupo está conformado por la variedad DIA 71, que fue el testigo del productor y presenta diferencia estadística con respecto al resto de los tratamientos. Por lo que la variedad DIA 71 mostró mayor susceptibilidad a la infestación y formación de quistes en sus raíces en comparación al resto de las variedades evaluadas.

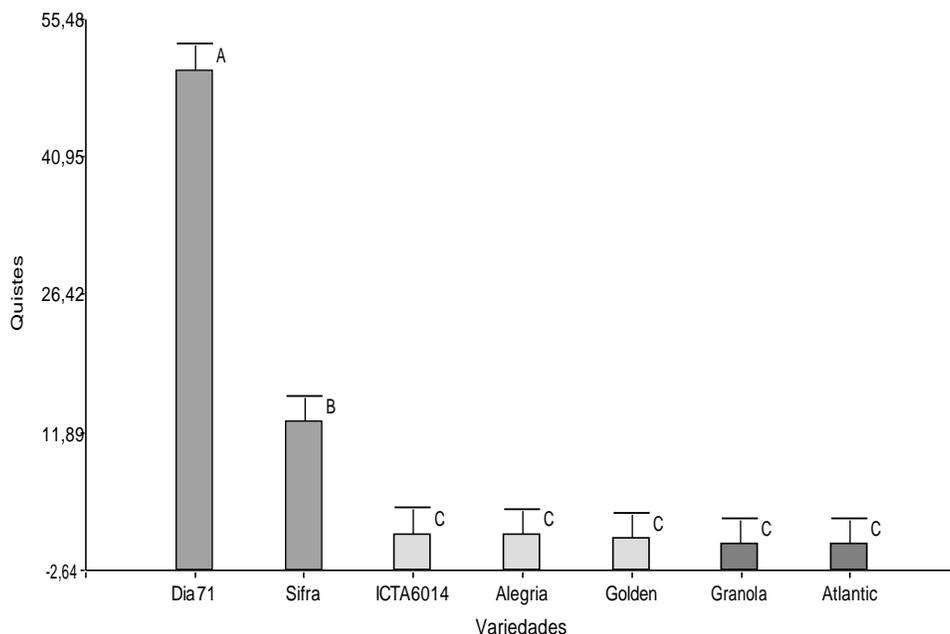


Gráfico 2 Análisis de discriminación de medias por el método DGC al número de quistes adheridos a la raíz en diferentes cultivares de papa.

En la figura 2 se presenta la comparación entre la cantidad de quistes adheridos a la raíz que se presentó en cada variedad. De acuerdo a la metodología del CIP, si se presenta más de 50 quistes adheridos la variedad se considera susceptible a *Globodera rostochiensis*, como el caso de genotipo DIA 71. Si las variedades presentan quistes en un rango de 1 a 15 se consideran parcialmente resistentes y en este caso corresponde a las variedades Sifra, Golden, Alegria y el clon ICTA 6014. La escala del CIP establece que, si la cantidad de quistes sobre la raíz es de 0, se considera que la variedad es resistente, en este caso corresponde a las variedades Atlantic y Granola.

Por lo que se identificaron las variedades Granola y Atlantic como resistentes a *Globodera rostochiensis*, las variedades Golden, Alegria, Sifra e ICTA 6014 como variedades parcialmente resistentes y DIA 71 como una variedad susceptible a la infestación de *G. rostochiensis*.

Tolerancia a *Globodera Rostochiensis*

A pesar de que las variedades Atlantic y Granola presentaron resistencia a la infestación de *G. rostochiensis* no fueron los genotipos que mostraron mayor rendimiento. Los genotipos ICTA 6014, Golden, Alegría o Loman presentaron mayor o igual rendimiento que estas, a pesar de presentar quistes adheridos a la raíz. Bajo este marco se presenta el concepto de tolerancia, que no es más que la capacidad que tienen las plantas de producir rendimientos aceptables bajo condiciones de infestación de las raíces. Por lo que la tolerancia se puede medir por medio de los rendimientos y en este caso por el tamaño de los tubérculos, ya que esta es una característica que es afectada directamente por la infestación de los nematodos.

De tal forma que se esperaría que a mayor susceptibilidad a la infestación de los nematodos se esperaría menor tamaño de tubérculos

Cuadro 26 Análisis de varianza del peso promedio de los tubérculos de los diferentes genotipos de papa.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Bloque	322,60	2	161,30	0,57	0,5778
Variedad	15210,54	6	2535,09	9,03	0,0007
Error	3370,30	12	280,86		
Total	18903,45	20			

En el cuadro 27 se observa el ANDEVA realizado al peso promedio de los tubérculos. El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos un genotipo presenta mayor tolerancia a *Globodera rostochiensis* en forma estadísticamente diferente a los demás.

Cuadro 27 Análisis de discriminación de medias por el método DGC al peso promedio del tubérculo de los diferentes genotipos de papa.

Variedad	Media	DGC al 5%
Alegría	44,41	A
Día 71	51,12	A
Atlantic	58,60	A
Granola	64,81	A
Golden	71,87	A
Sifra	72,78	A
ICTA 6014	132,42	B

En el cuadro 28, el genotipo ICTA 6014 muestra un peso promedio por tubérculo superior y diferente estadísticamente al resto de los genotipos evaluados. Por lo que se establece que el genotipo ICTA 6014 presenta la mayor capacidad de producir tubérculos de papa de buen tamaño a pesar de las condiciones de alta infestación de nematodos *Globodera rostochiensis*.

7. Conclusiones:

Se identificó al clon ICTA 6014 como el genotipo de papa que presentó un rendimiento de tubérculos estadísticamente superior a los otros cultivares en suelos infestados con 210 quistes por 100 gramos de suelo en promedio con *Globodera rostochiensis* en los departamentos de Quetzaltenango y Huehuetenango.

La variedad Alegría^R presentó igualdad de rendimiento al clon ICTA 6014 y superioridad al resto de las variedades en la sierra de los Cuchumatanes en departamento de Huehuetenango.

Se determinó que las variedades Granola^R y Atlantic^R presentaron Resistencia a la infestación de raíces de *Globodera rostochiensis*.

El clon ICTA 6014 presentó la mejor tolerancia de los genotipos de papa evaluados, por medio de la respuesta en el rendimiento por calidades y el mayor tamaño de tubérculos a pesar de poseer una resistencia parcial a la infestación de *Globodera rostochiensis*.

8. Recomendaciones

Validar los resultados de esta investigación en ambientes diferentes y en las diversas épocas de producción de papa en Guatemala.

Incluir en la validación a las variedades Alegría^R, Granola^R y al clon ICTA 6014.

Evaluar la aceptación de mercado y de los consumidores de las variedades en validación.

9. Revisión Bibliográfica

Agrios, G.N. 1998. Fitopatología. Trad. Manuel Guzmán. 2 ed. S.I. MX, Limusa. 838 p.

Cifuentes, O. 2014. Evaluación de 7 cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) con resistencia a nematodos de quiste. ICTA. Informe Final 2014.

Coyne, D.L; Nicol, J.M; Claudius-Cole, B. 2007. Nematología práctica: Una guía de campo y laboratorio. (En línea). Consultado en marzo 2017. Disponible en http://www.spipm.cgiar.org/c/document_library/get_file?p_l_id=17829&folderId=18466&name=DLFE-81.pdf

De Jong, 2013 W.American Journal of potato research. Variety with resitanceec ommon scab and the Golden nematode, series. Consultado el 28 de Sepetiembre del 2016.Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02872154#/page-1>

Di Rienzo J; Casanoves F; Balzarini M; Gonzalez L; Tablada M; Robledo C. 2008. Manual InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

De Paz, R; Aldana, F. 2014. Diseño y Análisis de experimentos agrícolas. 3 ed. Quetzaltenango, Guatemala.

Escobar, V. 2014. Determinación del grado de resistencia de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) frente a las infecciones con nemátodos del quiste (*Globodera* Spp), bajo condiciones controladas de laboratorio, Labor Ovale, ICTA-CIAL, Olintepeque, Quetzaltenango. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 41 p.

Franco, J. 1986. Nemátodos del quiste de la papa; *Globodera* spp. Boletín de Información Técnica 9. Centro Internacional de la papa. Lima, Perú. 21 p.

Franco, J; Gonzáles, A; Matos, A. 1990. Evaluación de resistencia de la papa al nemátodo del quiste *Globodera pallida*. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 67 p.

Huijsman, C. A. 1960. The influence of resistant potato varieties in soil populations *Heterodera rostochiensis*. *Nematológica s.l*, 6: 177-180.

ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1977. Folleto técnico No.6, El cultivo de la papa en Guatemala. El instituto. Guatemala. 23 p.

Little, Thomas M; Hills, F. Jackson. 1991. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas. México, 270 p.

MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, Guatemala); VISAR (Viceministerio de Seguridad Agropecuaria y Regulaciones), Dirección de Sanidad Vegetal. 2015. Manual de Plan de Manejo Integrado de Enfermedades de la Papa en Guatemala (*Solanum tuberosum* L.). Guatemala. El Ministerio. 16 p.

Maldonado M., C. 2012. Identificación de nemátodos de quiste en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), en seis localidades de la parte sur del municipio de Palestina de los Altos, del departamento de Quetzaltenango, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 64 p.

OIRSA (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria). 2015. Ficha técnica: Nemátodo dorado *Globodera rostochiensis*. s.l, La organización. 22p.

Ruiz-Berdejo, M. 1987. Plaga del dorado de la patata. Plan para su control en zonas infestadas. M.A.P.A. s.l, Hoja divulgadora 15/87. 19 p.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México), Dirección General de Sanidad Vegetal. 2013. Ficha Técnica No. 19, Nemátodo dorado (*Globodera rostochiensis* W). La Secretaría. Coyoacán, México, D.F. 50 p.

Scurrah, M. 1981. Evaluación de la resistencia en papa a los nemátodos del quiste. Boletín de Información Técnica 10. Centro Internacional de la papa. Lima, Perú. 16 p.

USDA, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2015. Alerta de plagas. Nemátodos Del quiste de la papa. s.l, La organización. 2 p.

Rivas, E. 2005. Determinación de la presencia de nematodos de quiste asociados al cultivo de papa (*Solanumtuberosum* L.) en los municipios de Patzun y Zaragoza, Chimaltenango. USAC. Tesis de grado.

Van der bossen et al, 2001. Homologues of a single resistance gen cluster in potato conferresistance to distinc pathogens: a virus and nematode, The Plant Journal, Consultado el 30 de septiembre del 2016. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-13x.2000.00814.x/pdf>

10. Anexos



Figura 1. Ensayo de rendimiento y resistencia de cultivares de papa a la infección del nematodo dorado en aldea Los Laureles Palestina de los Altos, Quetzaltenango



Figura 2. Manejo agronómico del ensayo en aldea Los Laureles Palestina de los Altos, Quetzaltenango



Figura 3. Cosecha de ensayo de rendimiento en aldea Los Laureles Palestina de los Altos, Quetzaltenango.



Figura 4. Conteo de quistes adheridos a las raíces



Figura 5. Toma de muestras en aldea Los Laureles Palestina de los Altos, Quetzaltenango



Figura 6, Variedad ICTA 6014 tolerante a nematodo dorado



Figura 7. Variedades evaluadas Sifra y alegría



Figura 8. Variedades evaluadas Atlantic y Golden Globe



Figura 9. Variedades evaluadas Granola y Dia 71



Figura 10. Productores de papa de la aldea Los Laureles Palestina de los Altos Quetzaltenango.

 **CRIA**
Programa Consorcios
Regionales de
Investigación Agropecuaria

