

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



Respuesta nematológica y agronómica de diez clones
de *Solanum tuberosum* “papa” al *Globodera pallida*
Stone en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGO EN LA ESPECIALIDAD DE ECOLOGÍA Y
RECURSOS NATURALES

Presentado por el:

Bach. ALLCCA HUAMAN BEDRILLANA, Roly

AYACUCHO – PERÚ

2017

A mi madre con cariño.

AGRADECIMIENTO

A los trabajadores de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional.

A los profesores de la Escuela Profesional de Biología por haberme acogido en sus aulas y forjado como profesional.

Al Blgo. César Justo Rodolfo Vargas, por su apoyo en el planeamiento y evaluación del presente trabajo de investigación.

Al Blgo. Walter Wilfredo Ochoa Yupanqui, por su asesoramiento en la culminación del presente trabajo de investigación.

Al Blgo. Edwin Portal Quicaña, por su apoyo en la culminación del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Agrónomo Máximo Morote Quispe, por sus orientaciones durante el desarrollo de la presente tesis.

Al Blgo. Reinan Cóndor Alarcón, por sus orientaciones y apoyo durante el desarrollo de la presente tesis.

A mis Familiares, amigos e Instituciones que de manera directa o indirecta han colaborado en la culminación del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco conceptual	6
2.2.1. <i>Globodera pallida</i> Stone	6
2.2.2. <i>Solanum tuberosum</i> “papa”	15
2.2.3. Respuesta del <i>Solanum tuberosum</i> a factores bióticos	20
2.2.4. Respuesta del <i>Solanum tuberosum</i> a factores abióticos	21
2.3. Bases teóricas	21
2.3.1. Naturaleza de la respuesta nematológica y agronómica	21
2.3.2. Resistencia del <i>Solanum tuberosum</i> al <i>Globodera pallida</i>	22
2.3.3. Tolerancia del <i>Solanum tuberosum</i> al <i>Globodera pallida</i>	25
2.3.4. Efecto de manejo integrado del <i>Solanum tuberosum</i>	25
2.3.5. Efecto de <i>Globodera pallida</i> en cultivares transgénicos de <i>Solanum tuberosum</i>	25
2.4. Marco legal	26
2.4.1. A nivel mundial	26
2.4.2. A nivel nacional	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Ubicación política del invernadero	27
3.2. Ubicación geográfica del invernadero	27
3.3. Características del invernadero	27
3.4. Tipo de investigación	27
3.5. Población y muestra	28
3.6. Variables e indicadores	28
3.7. Unidad experimental	29

3.8. Tratamientos	29
3.9. Diseño experimental	30
3.10. Características del experimento	30
3.11. Manejo específico del experimento	31
3.11.1. Prueba de viabilidad total (VT) del inóculo	31
3.11.2. Calibración del inóculo	31
3.11.3. Inoculación y siembra	31
3.11.4. Riego	32
3.12. Variables y métodos de evaluación	32
3.12.1. Evaluación de respuesta nematológica	32
3.12.2. Evaluación de respuesta agronómica	33
3.12.3. Evaluación de tolerancia y resistencia	33
3.12.4. Selección de clones de <i>Solanum tuberosum</i>	34
IV. RESULTADOS	35
V. DISCUSIÓN	43
VI. CONCLUSIONES	47
VII. RECOMENDACIONES	49
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Diferencias entre <i>S. tuberosum</i> y <i>S. andigena</i>	16
Tabla 2. Población y muestra de los clones de <i>Solanum tuberosum</i> y <i>Globodera pallida</i> . INIA - Ayacucho, 2016.	28
Tabla 3. Variables e indicadores evaluados	28
Tabla 4. Tratamientos en la evaluación de la respuesta nematológica (resistencia), de diez clones de <i>Solanum tuberosum</i> al <i>Globodera pallida</i> en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.	29
Tabla 5. Tratamientos para la evaluación de la respuesta agronómica (tolerancia), de diez clones de <i>Solanum tuberosum</i> al <i>Globodera pallida</i> en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.	29
Tabla 6. Distribución de los tratamientos en el invernadero para la evaluación de la respuesta nematológica de diez clones de <i>Solanum tuberosum</i> al <i>Globodera pallida</i> en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.	30
Tabla 7. Distribución de los tratamientos en el invernadero para la evaluación de la respuesta agronómica de diez clones de <i>Solanum tuberosum</i> al <i>Globodera pallida</i> en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.	30
Tabla 8. Criterios de Cook.14 para seleccionar los clones de <i>Solanum tuberosum</i> resistentes o tolerantes al <i>Globodera pallida</i> según su respuesta nematológica y agronómica.	34
Tabla 9. Clasificación de tolerancia con la prueba de “t” de Student al 5% de diez clones de <i>Solanum Tuberosum</i> al <i>Globodera pallida</i> en invernadero. INIA – Ayacucho, 2016.	39
Tabla 10. Clasificación de resistencia con la tasa de incremento de la población de <i>Globodera pallida</i> propuesta por Seinhorst. ¹³ , de diez clones de <i>Solanum Tuberosum</i> en invernadero. INIA – Ayacucho, 2016.	40
Tabla 11. Clasificación y selección de clones de <i>Solanum tuberosum</i> al <i>Globodera pallida</i> en invernadero de acuerdo a los criterios de Cook.14. INIA - Ayacucho, 2016.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Valores promedio del N° de quistes/planta de <i>Globodera pallida</i> como respuesta nematológica de diez clones de <i>Solanum Tuberosum</i> en invernadero INIA – Ayacucho, 2016.	36
Figura 2. Valores promedio del rendimiento (g/planta), de los clones de <i>Solanum tuberosum</i> inoculados y no inoculados con <i>Globodera pallida</i> en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.	37
Figura 3. Valores promedio del rendimiento (N° de tubérculos/planta) de los clones de <i>Solanum tuberosum</i> inoculados y no inoculados con <i>Globodera pallida</i> en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.	38

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Protocolo 1. Para preparar el inóculo de <i>Globodera pallida</i> “NQP” para infestar a cada uno de las unidades experimentales. INIA-Ayacucho, 2016.	54
Protocolo 2. Para el establecimiento de la investigación en invernadero. INIA-Ayacucho, 2016.	55
Protocolo 3. Para aislar los quistes de <i>Globodera pallida</i> Stone por el método de flotación. INIA- Ayacucho, 2016.	56
Protocolo 4. Para purificar los quistes de <i>Globodera pallida</i> “NQP” por el metodo de acetona y rodamiento. INIA – Ayacucho, 2016.	57
Protocolo 5. Para conteo de quistes de <i>Globodera pallida</i> “NQP”. INIA – Ayacucho, 2016.	58
Protocolo 6. Para hallar la viabilidad total de <i>Globodera pallida</i> “NQP”. INIA – Ayacucho, 2016.	59
Anexo 2. Tabla 11. Ficha para recolección de datos. INIA – Ayacucho 2016	60
Tabla 12. Rendimiento (g/planta) de 10 clones de <i>Solanum tuberosum</i> no inoculadas con <i>Globodera pallida</i> “NQP”. INIA-Ayacucho, 2016.	61
Tabla 13. Rendimiento (g/planta) de 10 clones de <i>Solanum tuberosum</i> en g/planta inoculados con <i>Globodera pallida</i> Stone “NQP”. INIA- Ayacucho, 2016.	62
Tabla 14. Diferencia porcentual en el rendimiento (g/planta) de 10 clones de <i>Solanum tuberosum</i> inoculados y no inoculadas con <i>Globodera pallida</i> Stone “NQP”. INIA- Ayacucho, 2016.	63
Tabla 15. . Rendimiento (N° de tubérculos /planta) de 10 clones de <i>Solanum tuberosum</i> no inoculados con <i>Globodera pallida</i> “NQP”. INIA- Ayacucho, 2016.	64
Tabla 16. Rendimiento (N° de tubérculos /planta) de 10 clones de <i>Solanum tuberosum</i> inoculados con <i>Globodera pallida</i> Stone. INIA- Ayacucho, 2016.	65
Tabla 17. Diferencia porcentual en el rendimiento (N° de tubérculos/planta) de 10 clones de <i>Solanum tuberosum</i> inoculados y no inoculadas con <i>Globodera pallida</i> “NQP”. INIA- Ayacucho, 2016.	66

Tabla 18. Población final de <i>Globodera pallida</i> “NQP” en 10 clones de <i>Solanum tuberosum</i> inoculadas. INIA- Ayacucho, 2016.	67
Tabla 19. Anva de la población final de quistes en la evaluación de resistencia de diez clones de <i>Solanum Tuberosum</i> al <i>Globodera pallida</i> en invernadero. INIA – Ayacucho, 2016..	68
Tabla 20. Prueba de <i>HSD Tukey</i> al 5% para la población final de <i>Globodera pallida</i> en diez clones de <i>Solanum Tuberosum</i> al <i>Globodera pallida</i> Stone en invernadero. INIA – Ayacucho, 2016.	69
Tabla 21. Viabilidad total inicial de la <i>Globodera pallida</i> Stone “NQP”. INIA- Ayacucho, 2016.	70
Tabla 22. Viabilidad total final de <i>Globodera pallida</i> Stone “NQP”. INIA- Ayacucho, 2016.	71
Tabla 23. Evaluación de tolerancia con prueba de “t” <i>Student</i> al 5% del rendimiento (g/planta). INIA- Ayacucho, 2016.	72
Tabla 24. Prueba de “t” <i>Student</i> al 5% para datos pareados del rendimiento (N° de tubérculos/planta). INIA- Ayacucho, 2016.	73
Tabla 25. Prueba de <i>HSD Tukey</i> al 5% para la población final de <i>Globodera pallida</i> Stone “NQP” en los diez clones de <i>Solanum tuberosum</i> . INIA- Ayacucho, 2016.	74
Anexo 3. Fotografía 1. Tubérculos de 10 clones de <i>Solanum tuberosum</i> “papa” tanto no inoculados e inoculados con <i>Globodera pallida</i> Stone “NQP”. INIA- Ayacucho, 2016.	76
Fotografía 2. Pigmentación de 10 clones de <i>Solanum tuberosum</i> tanto inoculado y no inoculado con <i>Globodera pallida</i> “NQP”. INIA- Ayacucho, 2016.	80
Fotografía 3. Crecimiento de 10 clones de <i>Solanum tuberosum</i> al <i>Globodera pallida</i> “NQP” en invernadero. INIA- Ayacucho, 2016.	84
Anexo 4. Matriz de Consistencia	85

RESUMEN

La tesis llevada a cabo en el invernadero del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), tuvo como problema determinar la respuesta nematológica y agronómica de diez clones de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida*, cuyos objetivos fueron evaluar la población final de *Globodera pallida*, el rendimiento de diez clones, la resistencia, tolerancia y susceptibilidad de diez clones y seleccionar los clones según los criterios de Cook; desarrollando una investigación básica experimental, siguiendo el DCA; cada unidad experimental tuvo 0,4 kg/maceta de un sustrato con 1 tubérculo sembrado de cada clon-semilla de 15 g con 4 repeticiones inoculados con 20 quistes. La población final de *Globodera pallida* se evaluó contando los quistes donde los clones 217,18 y 306,31 tienen 264 y 240 quistes. En rendimiento (g/planta), los clones inoculados (n1) presentaron 5,56 % menos que los no inoculados (n0). La tolerancia se evaluó empleando el "t" de Student al 5 % para establecer diferencias significativas comparando el promedio de rendimiento (g/planta), de 4 plantas inoculadas con las 4 plantas sin inocular. Los clones 284,14; 281,39; 282,32; 4; 217,18; 302,34; 282,27; 3451,1219 y 302,35 son tolerantes a *Globodera pallida*. La resistencia se evaluó con la tasa de incremento (I) de *Globodera pallida*, posteriormente se realizó un Anva encontrando diferencias significativas entre los diez clones, contrastando con la prueba de Tukey al 5%; todos los clones resultaron susceptibles con tres rangos de "I" de *Globodera pallida*. Para la selección de los clones se utilizaron los criterios de Cook, seleccionando los susceptibles y tolerantes al *Globodera pallida* 284,14; 281,39; 282,32; 4; 217,18; 302,34; 282,27; 3451,1219 y 302,35 mientras el 306,31 es susceptible no tolerante. Los clones 217,18 y 306,31 presentaron una baja población final del nematodo. Los rendimientos de los clones fueron afectados por la *Globodera pallida*. No hay clones resistentes pero si tolerantes seleccionados como susceptibles tolerantes.

Palabras clave: rendimiento, tolerancia, resistencia, *Globodera*.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la papa representa una de las actividades agrícolas de mayor importancia en el Perú y principalmente en la sierra, es la base de la alimentación rural y urbana, por su contenido de hidratos de carbono, vitaminas y minerales.¹ En nuestro país, de acuerdo a las cifras del Ministerio de Agricultura se siembra alrededor de 1 443 000 Has de papa, de los cuales casi el 60 % de la producción es destinada al autoconsumo dentro de un sistema de agricultura de subsistencia. Una de las limitaciones del bajo rendimiento en la producción de papa lo constituyen las plagas y enfermedades.² Dentro de estos factores limitantes, *Globodera pallida* es considerada plaga de importancia en la región andina; por los daños directos e indirectos que ocasiona en el cultivo. Los daños directos están relacionados con la interferencia de la actividad fisiológica de la raíz de la papa, que trae como consecuencia la reducción del rendimiento y la calidad de los tubérculos.³ Los daños indirectos están referidos a la interacción con otros patógenos del suelo. Las pérdidas que ocasiona el Nematodo Quiste de la Papa (NQP), son difíciles de estimar y frecuentemente varían con el grado de infestación del terreno y la población del nematodo.⁴ Generalmente se considera que los daños en rendimientos del tubérculo de papa pueden ser del 13 al 58% de la producción total.³ Su importancia económica es cada vez mayor debido a la dificultad que ocasiona su control. Además, por su gran capacidad de resistencia a condiciones adversas, los huevos de *Globodera pallida*, pueden permanecer viables por muchos años ya que se encuentran protegidos por una estructura endurecida llamada quiste.⁵ Los nemátodos quistes de la papa están ocasionando pérdidas en la producción de la papa en la zona andina del Perú generando grandes pérdidas económicas y alimenticias para la población que se sustenta con el cultivo de papa, por lo que se buscó información importante respecto a la respuesta nematológica y agronómica de diez clones de papa. La

presente investigación permitió conocer clones tolerantes para emplearlos en un programa de manejo integrado de plagas; estas respuestas nematológicas y agronómicas se evaluaron mediante la metodología de Mejía y Valverde.⁷, complementada con del Centro Internacional de la Papa (CIP), que recomienda pruebas en macetas; donde se inoculó quistes de *Globodera pallida* en 10 clones de *Solanum tuberosum* durante 130 días para su evaluación; dentro de este sistema complejo, es importante conocer que el control por resistencia genética es menos costoso respecto a otras medidas de control, no perjudica al ambiente, ayuda a reducir el peligro de diseminación de nemátodos y ayuda a mantener la infestación de la plaga dentro de los niveles tolerables de daño.⁶ El presente trabajo aportará con información importante con respecto a la respuesta de un grupo de clones en evaluación, que al poseer características de tolerancia al *Globodera pallida* serán incluidas como progenitores en los programas de cruza del Programa Nacional de Raíces Tuberosas (PNRT) – papa que son de prioridad nacional, teniendo los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar la respuesta nematológica y agronómica de diez clones de *Solanum tuberosum* “papa”, al *Globodera pallida* Stone, en invernadero. Ayacucho – 2016.

Objetivos específicos

- Evaluar la población final de *Globodera pallida* Stone en diez clones de *Solanum Tuberosum* “papa”. INIA – Ayacucho, 2016.
- Evaluar el rendimiento de diez clones de *Solanum Tuberosum* “papa” al *Globodera pallida* Stone. INIA – Ayacucho, 2016.
- Evaluar la resistencia, tolerancia y susceptibilidad de diez clones de *Solanum tuberosum* “papa” al *Globodera pallida* Stone en invernadero. INIA – Ayacucho, 2016.
- Seleccionar los clones de *Solanum tuberosum* “papa” en base a su respuesta nematológica y agronómica según los criterios de Cook. INIA – Ayacucho, 2016.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

En el pasado, los daños causados en los cultivos de papa se atribuyeron a diversas causas, tales como la fertilidad del suelo, escaso contenido de humedad del suelo, etc., con el avance científico se supo que los nemátodos, principalmente *Globodera pallida* Stone, eran los causantes de estos daños.¹ El mismo autor menciona que el descubrimiento de *Globodera spp.*, ocurrió en Europa en 1913, cuando Zimmeman reportó su presencia en raíces de plantas de papa y en 1923 Wollenweber identificó el parásito como *Heterodera rostochiensis*.¹ Entre los parásitos que atacan al *Solanum tuberosum* “papa”, en muchos países, los nemátodos juegan un papel muy importante. Setenta especies han sido señaladas en el cultivo de la papa. Sin embargo, los formadores de quistes, *Globodera rostochiensis* Woll y *Globodera pallida* Stone, son considerados los más dañinos y afectan el rendimiento de este cultivo en la mayoría de las zonas paperas del mundo.²

Para el caso de nuestro continente, el nematodo de papa fue identificado por primera vez en Norte América en campos de cultivo de papa en Long Islam, donde estuvo produciendo síntomas desde afines de 1930. Las dos especies de nemátodos del quiste fueron probablemente introducidas de Europa pero todo parece indicar que *Globodera rostochiensis* fue la especie que consiguió establecerse y predominó en estos lugares debido a que las hembras tienen una prolongada fase amarilla antes de cambiar a quiste de color marrón, por esta razón, comúnmente en Estados Unidos se le llama “nematodo dorado”.³ En relación a su resistencia a *Globodera pallida* Stone, la altura de las plantas no es un buen criterio de selección y que los clones resistentes, debido a la interacción genotipo – ambiente deben repetirse en por lo menos 4 campañas.² Ensayos realizados en Europa y Chile han determinado que el límite de tolerancia de la

papa a los nemátodos formadores de quistes es de aproximadamente 1.9 huevos/g de suelo. El rendimiento de la papa puede ser reducido entre 20 y 50% cuando el nivel poblacional del nematodo en el suelo alcanza 16 y 32 huevos/g de suelo, respectivamente. El cultivo puede ser destruido completamente cuando la población inicial del nematodo es de 64 huevos y l/g de suelo. Con la excepción de un ensayo realizado en Italia a 650 msnm, la particularidad es que estos resultados proceden de ensayos realizados cerca del nivel del mar, más aún si consideramos que en los países andinos la papa se cultiva hasta más de 3000 msnm en suelos con altos contenidos de materia orgánica, factores que pueden afectar la relación entre el nivel poblacional del nematodo en el suelo y el rendimiento de la papa.²

A nivel regional, encontramos que Gomez.⁴ en su trabajo de investigación “Niveles de infestación de *Globodera spp.*, en los campos de cultivo de producción de papa de la provincia de Huanta, Ayacucho, 2004” logró identificar como especie única a *Globodera pallida* Stone mas no así a *Globodera rostochiensis* en los suelos de cultivo de papa en los distritos de Huamanguilla, Iguain, San José de Secce, los distritos de Huanta y Luricocha se hallan libres de dicho nematodo. La *Globodera pallida* está presente en las localidades de Allpachaca, Arizona, Quinoa, Tambo y Huanta. Esta investigación aporta resultados similares a los de Pérez en 1987, quien en la localidad de Pampa Cangallo identificó dos especies de este nematodo: *Globodera pallida* y *Globodera rostochiensis*.⁵

En el Perú se han identificado dos razas de *Globodera pallida* (P₄A y P₅A).¹, También reportan por primera vez la presencia de quistes de *Globodera sp.*, entonces *Heterodera rostochiensis* denominado “anguilula dorada” en plantas provenientes de la provincia de Tarma, del departamento de Junín.¹

Las pérdidas económicas causadas por *Globodera spp* en Bolivia y Perú se estimaron en base a información documentada disponible sobre su distribución (incidencia) y pérdidas en el rendimiento (severidad) del cultivo de papa. Se determinó que *Globodera ssp* está presente en diferentes niveles de infestación en todos los departamentos andinos de ambos países. La extrapolación de áreas cultivadas, incidencia, severidad de daño y precio de venta de los tubérculos, mostraron que las pérdidas económicas en el valor bruto de la producción de papa en Bolivia y Perú alcanzan a US\$13 000 000 y US\$ 128 000 000, respectivamente. La especie dominante en el Perú es *G. pallida* y *G.*

rostochiensis en Bolivia, aun cuando en este último se encontraron poblaciones con ambas especies. *Globodera spp.* Fue más frecuente entre los 3 500 y 4 000 msnm.⁶

Para hacer frente a este parásito, la mejor opción, es el uso de variedades resistentes y tolerantes en un programa de manejo integrado. Este control físico, respecto a otras medidas de control es menos costoso para el agricultor, no perjudica al ambiente, ayuda a reducir el peligro de diseminación de nemátodos y ayuda a mantener la infestación de la plaga dentro de los niveles tolerables de daño.⁷

En la investigación “Evaluación de la resistencia, tolerancia y susceptibilidad de 24 variedades de papa nativas al parasitismo del nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*) en invernadero Cutuglahua – Pichincha”, se reporta que en la variable rendimiento (tolerancia) del nivel 0 (n0 = sin nemátodos), las variedades que presentaron mejor respuesta nematológica y agronómica fueron Puca Huayro con un promedio de 0,476kg/planta, Coneja blanca con 0,408 kg/planta y Chaucha Blanca con 0,400 Kg/planta, Los menores rendimientos promedio fueron de las variedades Calvache, Uvilla y Coneja Negra con pesos promedios (0,290kg/planta; 0,284kg/planta; 0,260kg/planta) respectivamente. En la variable rendimiento (Tolerancia) del nivel 1 (n1 = con nemátodos 20 huevos y larvas por gramo de suelo), las variedades que presentaron mejor respuesta nematológica y agronómica fueron milagrosa con un promedio de 0,354kg/planta, variedad coneja negra con 0,338kg/planta, Bolona, Gabriela, Carrizo Cotopaxi, Unknown y Uvilla con rendimientos promedios de (0,298; 0,298; 0,294; 0,294 y 0,292 kg por planta) respectivamente, los menores rendimientos promedio fueron de las variedades Macholulo y Jubaleña.⁸ En la variable calificación y selección, según los postulados de COOK en la respuesta de las variedades de papas nativas al parasitismo de (*Globodera pallida*), se observan que todos se comportan como susceptibles porque el incremento de la población del nematodo del quiste de la papa es mayor que uno y se encuentra en un rango de 2,64 a 37,52 veces.⁸

Gomez¹ menciona en su tesis titulada “Comportamiento de clones de papa al ataque del nematodo quiste *Globodera pallida spp.*, Ayacucho 1996” que de los doce clones estudiados en el presente experimento solo se ha encontrado resistencia en los clones de MARIA HUANCA, UNA LM GUISI, 92FL88,1 Y P-7, las mismas que servirían como fuente de resistencia para incorporar a otras

variedades comerciales con mejor capacidad productiva. Existen países en donde la falta de control de estas especies puede causar pérdidas de hasta el 80 % en los rendimientos del cultivo de papa ya que esta plaga, no solamente ocasiona reducción del rendimiento, sino que una vez establecida en el campo es imposible de erradicar.¹

Los orígenes de la papa se encuentran en la región Andina, donde en inmediaciones del lago Titicaca (sur del Perú y norte de Bolivia) su domesticación inició hace 10000 años y su cultivo hace 7000 años. En esta región es posible encontrar parientes silvestres de la papa y desde allí el cultivo se ha propagado en una amplia área geográfica que se extiende desde Venezuela hasta Chile.⁵ La papa posee una enorme diversidad genética compuesta por especies cultivadas y silvestres; siendo la mayoría cruzables entre sí. La mayoría de los cultivares nativos son originarios de Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Argentina; y a pesar de que más del 80 % se encuentran el banco de germoplasma del Centro internacional de la Papa CIP, la mayor diversidad de la región Andina es mantenida en los campos de los agricultores. La región de los Andes acoge, a nivel mundial, la mayor diversidad genética que resulta de su gran diversidad de ecosistemas.⁷ Las comunidades nativas y locales se han adaptado a ello basando sus estrategias alimenticias y agricultura tradicional en estas especies con el fin de asegurar la provisión alimenticia y otros insumos. La papa en la región Andina es un ejemplo de esta sinergia entre la riqueza biológica y la dinámica socio cultural. La papa y sus diferentes variedades cumplen importantes funciones socioeconómicas y culturales en la vida cotidiana de las familias rurales andinas. A nivel socioeconómico, la papa es uno de los cultivos que más dinamiza el empleo rural (producción y comercialización). Además, es la base de la alimentación en las zonas andinas. Esta importancia en la alimentación ha permitido la conservación de variedades nativas como estrategia de provisión de estabilidad a la producción y equilibrio a la dieta familiar.⁴

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Nemátodo del quiste de la papa

2.2.1.1. Identidad “nombre”

Globodera pallida Stone 1972 “nemátodo de la papa” o “nemátodo blanco de la papa”.⁷

2.2.1.2. Especie

A nivel mundial, el cultivo de la papa es infectado por dos especies de nemátodos formadores de quistes *Globodera rostochiensis* Wollenweber (1923) y *Globodera pallida* Stone (1972) llamados, el primero “nemátodo dorado de la papa” y el segundo “nemátodo blanco de la papa”. Ambos nemátodos han coevolucionado con el cultivo de papa en Sudamérica por cientos de miles de años.⁷ Los nemátodos del quiste de la papa (NPQ) pertenecen al Phylum nematoda, al orden Tylenchida y a la familia Heteroderidae. Estudios realizados indican que *G. rostochiensis* y *G. pallida* se separaron hace 10000 a 90000 años, sin embargo, recientes estudios moleculares demostraron que la separación se dio hace millones de años.²

2.2.1.3. Taxonomía

En 1973, nuevas especies del nemátodo del quiste de la papa (*Heterodera pallida*) fueron descubiertas. Mucho antes datos técnicos referidos para *Heterodera rostochiensis sensu lato*, incluyeron ambas especies. Para posicionar a los nemátodos del quiste de la papa Skarbilovich (1959), lo ascendió al subgénero *Globodera* y por último fue elevado a género por Behrens (1975).⁸

Tiene las siguientes categorías taxonómicas:¹⁰

Reino : Animal
Phylum : Nematoda
Clase : Secementea
Orden : Tylenchida
Sub Orden : Tylenchina
Super Familia : Heteroderoidea
Familia : Heteroderidae
Sub Familia : Heteroderdae
Género : *Globodera* skarbilovich 1959
Especie : *Globodera pallida* Stone 1972
Globodera rostochiensis woll 1993

2.2.1.4. Distribución geográfica

Más de 40 especies de nemátodos infectan a la papa, pero sólo unas pocas son de importancia.¹² La mayoría de estos nemátodos que causan daño están distribuidos en el mundo y tienen una gama relativamente amplia de hospedantes.¹⁰ En el caso de *Globodera pallida* Stone se distribuye en climas desde Moderado tropical (Mt), Subtropical (St) y Templado (T); siendo Mt y T los

de mejor adaptación.¹¹ Las dos especies del Nematodo Quiste de la Papa son originarias de los países andinos, especialmente Perú y Bolivia.¹ Es importante señalar, que *Globodera rostochiensis* (Woll). Fue detectado por primera vez en Alemania en el año 1881 y descrito en 1923 por Wollenweber, a partir de una población colectada en Rostok.² En 1973, Stone, observó la existencia de poblaciones del nematodo cuyas hembras no presentaban la coloración amarilla y, basándose en características morfo métricas de los estados juveniles y la cromogénesis de las hembras, describió a estas poblaciones como *Globodera pallida*, nueva especie de nematodo quiste de la papa. Posteriormente, los nemátodos formadores de quistes fueron agrupados en seis géneros incluyendo en el género *Globodera*, a las especies con quistes esféricos como eran *Heterodera rostochiensis* y *Heterodera pallida*. Desde Alemania el nematodo se dispersó a los otros países europeos y a otros continentes, incluyendo América Latina, probablemente con el comercio de tubérculos de papa para semilla.⁹ Reportan por primera vez la presencia de quistes de *Globodera* sp., entonces *Heterodera rostochiensis* denominado “anguilula dorada” en plantas provenientes de la provincia de Tarma, del departamento de Junín.¹ Los campos de cultivo de la provincia de Andahuaylas presentan un nivel de infestación de 0 - 1328 Huevos + J2/gr. de suelo.¹¹

2.2.1.5. Ciclo de vida

En función del hospedante y la temperatura del suelo, el ciclo de vida de *G. pallida* es de 90 a 100 días y produce una generación por ciclo de cultivo de papa a 10 °C. En el interior del quiste las larvas pueden pasar por una fase de reposo, en la cual la capacidad de eclosión o emergencia de las mismas se ve disminuida o interrumpida, en función de las condiciones ambientales: temperatura (> 30 – 35 °C quedan inactivos) y de la iluminación (a iluminación constante no existe reposo). En la ausencia de hospederos, muchos huevos en los quistes mueren gradualmente. En reportes anuales (en varias áreas geográficas), la tasa de mortalidad de huevos varía en regiones templadas con menos del 50% y en las regiones calientes con más del 75%. El ciclo de vida comprende un estado de huevo, cuatro estados juveniles y un estado adulto, tras producirse cuatro mudas.¹² Las hembras secretan feromonas para atraer a los machos de su propia especie, pero también existe atracción a machos de otras especies (siempre y cuando sean del mismo grupo).⁴ La primera muda se presenta dentro del huevo. En el estado adulto es donde se produce un marcado

dimorfismo sexual; el macho conserva la forma filiforme y las hembras fecundadas aumentan de tamaño y se vuelven esféricas. Las hembras establecen su área de alimentación en el xilema. Las hembras maduras tienen el cuello prominente, miden entre 0,5 y 0,8 mm de longitud con tamaño variable que depende probablemente de las características del hospedero y de la nutrición durante el desarrollo. Los machos miden de 0,93 – 1,30 mm de largo, estilete y espícula (estuche) de 27 y 32 – 40 μm de largo respectivamente y número base de cromosomas $n = 9$.⁴

La velocidad de multiplicación y proporción de sexos son influenciados por la densidad de la población de los nemátodos y por las características del hospedero. La disponibilidad de alimento estimula la multiplicación, la que puede alcanzar hasta 60 veces más. Cuando el alimento es limitado y la población numerosa (100 h y l / g s), la densidad de nemátodos puede llegar a disminuir. En condiciones ambientales adversas al desarrollo del nemátodo, la relación numérica entre sexos se inclina a favor de los machos, que tienen menor necesidad nutritiva respecto de las hembras ya que éstos cuando están dentro de la raíz no son activos, mientras que las hembras continúan alimentándose. También influyen la densidad de *Globodera pallida* y las características genéticas del cultivo huésped.⁸

La hembra luego de ser fertilizada, produce y retiene de 200 a 600 huevos en el cuerpo. Los huevos comienzan su desarrollo embrionario hasta alcanzar la primera fase larvaria en la que la larva se encuentra doblada o replegada en el interior de la cubierta del huevo. En el huevo se desarrolla el primer estado juvenil, el cual por estímulo de los exudados de la raíz, realiza la primera muda de cutícula; en esta etapa se forma el estilete, para convertirse en el segundo estado juvenil (J2) que sale del huevo e infecta a la raíz; los J2 con sus estiletes cortan el cono vulvar (abertura natural del quiste entre la cabeza y la vulva, que se forma al morir la hembra fecundada) para poder salir. Las células que se encuentran en los ápices de las raíces son muy activas, están en constante crecimiento y desarrollo, además secretan diferentes exudados, más que en otras regiones de las raíces.¹³

Esta actividad se debe a la producción de fitohormonas, entre ellas las auxinas, que son detectadas por los anfidios (quimiorreceptores que son producto de invaginaciones ciegas, tubulares o sacciformes de la cutícula, que contienen un poro exterior, un conducto y una bolsa anfídial) de los nemátodos. Uno de los

sitios de infección preferidos por los J2, son las zonas de elongación, esto a causa de los gradientes de potencial eléctrico. Las larvas mediante las sustancias enzimáticas inyectadas a través del estilete, provocan (a nivel de los tejidos más internos) la formación de células gigantes multinucleadas (síncitos) que se forman por la disolución de las paredes y absorben las sustancias nutritivas hasta que el nemátodo alcanza la madurez. La penetración de las larvas hasta los vasos conductores de savia se realiza a nivel de los pelillos radiculares, cerca de la cofia. Dependiendo de la temperatura la segunda etapa juvenil (J2) se completa alrededor de 7 días después de la invasión.¹²

Cuando las larvas no emergen de los huevos, es debido a la inexistencia de exudados radiculares o P. D. R., como se denomina en inglés (Potato Diffused Root), entonces se dice que están en estado de quiescencia, o bien porque aunque existe P. D. R., no se dan una serie de requerimientos específicos necesarios para la emergencia, a lo cual se denomina estado de diapausa.⁶ Dentro de la raíz se produce la segunda muda para entrar a la tercera etapa juvenil (J3) que se completa entre 10 a 11 días después de la invasión, en esta etapa los juveniles se diferencian en hembras con ovarios pares, y los machos con un solo testículo. Después una tercera muda para entrar a la cuarta etapa juvenil (J4) tras la cual se puede observar el tipo sexo que depende de la calidad y cantidad de alimento que el hospedero le proporcione, el juvenil femenino de cuarta etapa es en forma de botella y mide alrededor de 0.4 mm de largo, la cavidad del cuerpo comienza a ser casi completa con los ovarios en desarrollo. Tras la cuarta muda el sistema reproductor se abre al exterior a través de la formación de la vulva, las hembras permanecen sésiles (adheridas), con el cuerpo hinchado de 0,5 – 0,8 mm de diámetro que sobresale a través de la epidermis de la raíz y el macho abandona la raíz y vive en la rizósfera, se transforma en un gusano alargado y delgado, donde busca a las hembras para fecundarlas. Es atraído por la feromona de la hembra joven, llega hasta ella y se aparea, muchos machos pueden rodear a la hembra y tener múltiples apareamientos, tras fecundarla muere, ya que solo puede vivir en el suelo unos diez días. En la hembra fecundada los ovarios comienzan a aumentar de tamaño y en última instancia llenan todo su cuerpo haciéndose globosa, unas cuatro semanas después de la fecundación la hembra sufre una transformación al engrosar las paredes de su cuerpo y se transforma en quiste al morir, el cual contiene huevos embrionados que provoca la ruptura del tejido radicular,

sobresaliendo al exterior de la raíz con casi todo su cuerpo, pero queda fijada a la raíz por el cuello. Al principio el color del quiste es blanquecino y luego se hace de color marrón.¹² Tras formarse el quiste, los huevos permanecen en latencia por un mes y pueden permanecer protegidos adentro por hasta 10 ó más años antes de morir. Sin estímulo de su hospedante puede presentarse eclosión espontánea afectando la viabilidad de los juveniles (J1). Esta eclosión espontánea tiene una magnitud en el primer año de 20 – 30% según la especie. El quiste o cuerpo de la madre, protege los huevos de las condiciones desfavorables de humedad, temperatura y les permite permanecer en el suelo por hasta 20 años o más en ausencia de su hospedante. Así la salida de las larvas se produce de forma escalonada durante varios años y a medida que pasan los años, la proporción de huevos viables en el interior de los quistes decrece poco a poco. Además los juveniles no pueden sobrevivir sin hospedero en el suelo por más de 20 días. En los campos infestados las hembras maduras se pueden encontrar en las raíces de la papa dentro de 6 – 7 semanas después de la emergencia del cultivo y los huevos completamente desarrollados dentro del quiste un mes más tarde. Los machos también se pueden encontrar desde 6 – 7 semanas después de la emergencia del cultivo. La distribución espacial horizontal de este nematodo en el campo es en parches, es decir gregario, con tendencia a dispersarse en sentido de los surcos y de la pendiente. Mayor concentración de población se encuentra en la parte baja de los lotes y también en el sitio donde se realiza la selección de tubérculos a la cosecha por desprendimiento de los quistes de los tubérculos.⁸ En cuanto a la distribución espacial vertical, la mayor población del nematodo se encuentra entre 1 y 20 cm de profundidad, aspecto importante a considerar para tomar muestras de suelo para diagnóstico.¹³ La diseminación en el suelo lo hace adherido a herramientas, llantas del tractor, arado, botas, agua de riego y por semilla infestada. Por si solo se desplaza a 30 cm por mes.⁵ La *Globodera pallida* Stone es un nematodo endoparásito, los cuales penetran completamente en el tejido de la raíz y durante parte de su ciclo de vida se alimentan teniendo todo el cuerpo dentro del tejido vegetal.

2.2.1.6. Epidemiología

A partir de la presencia de un quiste en el suelo pasan de 7 a 15 años hasta que su número aumenta lo suficiente como para que los primeros síntomas se manifiesten. La población de quistes en el suelo aumenta cada año cuando se

establece un cultivo de papas en el terreno. La proporción en la que aumenta el número de quistes depende del nivel de infestación inicial del mismo, produciéndose los mayores aumentos cuando hay entre 0,5 y 1,5 quistes / gramo de suelo a lo que se le denomina "zona peligrosa".¹⁴ A pesar de que a niveles altos de infestación la proliferación de nemátodos disminuye; pues no hay competencia por el espacio y el alimento en las raíces. Lo que da origen a que se produzcan continuamente oscilaciones anuales en las poblaciones y siempre van a moverse alrededor de un umbral que normalmente ya es perjudicial para el cultivo.³ Sin embargo la severidad de los síntomas no está correlacionada con la cantidad del patógeno en la planta.¹⁵ Aunque la población de nemátodos no se incrementa tan rápidamente como sucede con los hongos o bacterias patógenos de la papa, una vez que se encuentran bien establecidos en las áreas de cultivo, aún con la tecnología moderna, son imposibles de erradicar.⁸ Las condiciones ambientales que aseguran el éxito de un cultivo comercial de papa, proporcionan también las condiciones óptimas para la multiplicación y supervivencia de estos nemátodos.¹ Las larvas se vuelven activas a 10 °C y la máxima invasión de las raíces se realiza a 16 °C. Temperaturas del suelo de 26 °C por períodos prolongados limitan el desarrollo del nemátodo y reducen su proporción. Se desarrolla bien en suelos arcillosos mediano a pesados bien drenados o arenosos con suficiente aireación, suelos sedimentados o de musgo con un contenido de humedad de 50 a 75 % de la capacidad de campo. El pH del suelo tolerable para la planta de papa, puede aparentemente ser tolerado también por los nemátodos. El nivel nutricional del suelo parece tener poco o ningún efecto sobre los nemátodos, con excepción de aquel que ejerce sobre el comportamiento del cultivo.¹⁰ La presencia del nematodo se puede verificar extrayendo plantas en la época de floración. Al examinar las raíces se observan adheridas pequeñísimas estructuras a manera de perlas de 0.5 a 1 mm de diámetro de color blanco, crema a café marrón. Estas estructuras se llaman quistes; es el cuerpo de la hembra que contiene más de 500 huevos. A la madurez los quistes se desprenden con facilidad y pueden sobrevivir en el suelo por más de 20 años, los huevos pueden activarse en el momento que se siembre la papa y las larvas emergen con el estímulo el exudado de las raíces.⁸

2.2.1.7. Sintomatología y daños

Los nemátodos del quiste de la papa no causan inmediatamente síntomas, pueden permanecer por muchos años en el suelo sin que se detecte su presencia. En bajas densidades estos nemátodos no causan síntomas aéreos visibles, pero sí se continúa con el cultivo de papa en el mismo campo (monocultivo), es posible observar un crecimiento retardado en manchas o parches en uno o más puntos del campo, que se agrandan cada año.¹⁶ Cuando las densidades son altas se observan síntomas parecidos a los que causa la deficiencia de agua o nutrientes (reducción del crecimiento, amarillamiento), tendencia al marchitamiento durante las horas más calurosas y secas del día, reducción de la masa radicular ocasionando retraso en el crecimiento del extremo de la raíz, engrosamiento de la punta de la raíz con una reducción del número y peso de los tubérculos, es decir un rendimiento reducido. El efecto sobre el rendimiento del cultivo depende de la densidad de los nemátodos en el suelo. El follaje de la planta atacada por una alta población de nemátodos se vuelve amarillento y se marchita cuando no hay suficiente humedad en el suelo, llegando incluso a detener su crecimiento y a morir prematuramente. Se produce una proliferación de raíces laterales, aunque en el sistema radicular está menos desarrollado que en las plantas sanas, existen lesiones en la raíz causadas por parásitos secundarios. De manera general, en cultivos afectados se observan plantas o grupos de plantas pequeñas distribuidas en forma de parches, con cierta decoloración y marchitez en días soleados, síntomas que pueden ser confundidos con deficiencias nutricionales. Los parches se agrandan por el frecuente cultivo de papa en la parcela hasta homogenizar la infestación en todo el campo. En este punto el suelo ya no es fértil, un fenómeno conocido como fatiga.⁴ Se han determinado pérdidas de hasta dos toneladas por hectárea cuando la infestación supera a los 20 h y l/g y reducciones proporcionales similares al aumento de la población. En casos severos, puede llegarse inclusive a cosechar menos tubérculos que los sembrados. Un suelo fértil con contenido adecuado de humedad puede enmascarar una infestación mayor.⁸ En consecuencia la reducción de las plantas infectadas por el nemátodo es el resultado de diversos efectos sobre la fisiología de la planta, porque las plantas muestran una baja relación tallo / raíz ya que los fotosintatos son desviados hacia el desarrollo de las raíces y no del tallo. La infección disminuye también el contenido de Potasio, Fósforo y Magnesio, aumenta la absorción de calcio y

altera por ende el balance K/Ca. Por consiguiente el retraso en el crecimiento provoca pérdidas de dos maneras: en primer lugar pocos tubérculos se desarrollan y en segundo lugar la reducción del periodo de crecimiento por el retraso en el crecimiento inicial y la rápida senescencia de la planta causada por la poca interceptación luminosa al poseer reducida área foliar. Por último los nemátodos del género *Globodera* tienen interacciones con otros patógenos, principalmente con hongos de las especies *Verticillium dahliae*, *Rhizoctonia solani*, bacterias como *Pseudomonas solanacearum* y otros. Se trata de “asociaciones” o “complejos”, en los cuales los daños producidos son más graves que los ocasionados por cada patógeno por separado.¹²

Si se continúa con el monocultivo, es posible observar un crecimiento retardado en manchas o parches en uno o más puntos en el campo, que se agrandan cada año y finalmente reducción en el rendimiento del cultivo.⁷

2.2.1.8. Factores de suelo

Debido a que el hábitat de los nemátodos es el suelo, los principales factores que afectan al suelo pueden influir directa e indirectamente en la severidad del daño causado por ellos,¹⁷ los más importantes son:

Temperatura: es un factor importante en la eclosión del nemátodo del quiste (*G. pallida*) requiere un régimen de temperatura estable en relación a la escotilla, la temperatura óptima de incubación en el campo es de 13,4 °C, pero en la emergencia se puede observar que a 10 °C, afecta la producción de huevos, con respecto a la reproducción, el desarrollo y la supervivencia, determinando así la localización y el parasitismo del nemátodo.

Humedad: la fluctuación de la humedad del suelo debida a la lluvia o a la irrigación es el factor más importante para la dinámica de la población de nemátodos. El exceso de humedad propicia la carencia de oxígeno e incrementa las toxinas de los microorganismos anaeróbicos. La ausencia de humedad del suelo y la desecación conducen a la inactividad y eventualmente a la muerte de los nemátodos a no ser que posean adaptaciones para la supervivencia como es el caso de *Globodera pallida*.

Textura: la actividad y los movimientos de los nemátodos en el suelo para alcanzar la raíz, están relacionados con la porosidad del suelo, con el tamaño de las partículas del suelo, con el espesor de la película de agua que exista, y con el movimiento específico del nemátodo. La estructura del suelo y la humedad del suelo son factores importantes para una máxima incubación del nemátodo del

quiste y para los nemátodos transmitidos por el suelo. Suelos de textura gruesa favorecen la incubación y cuando el contenido de agua está a capacidad de campo la eclosión es máxima. La sequía y el anegamiento inhiben la eclosión de los nemátodos parásitos de plantas.

Aireación: la aireación escasa reduce la supervivencia y la densidad de población de los nemátodos, como, cuando se irriga un suelo.

Química del suelo: la salinidad, el pH, la materia orgánica, la fertilización y el uso de biocidas afectan la emergencia y la actividad de los nemátodos.

2.2.1.9. Rangos de hospedero

El rango de hospederos conocidos para los nemátodos del quiste de la papa (*Globodera pallida* y *Globodera rostochiensis*) incluye principalmente especies del género *Solanum* y algunas especies de *Datura*, *Hyoscyamus*, *Lycopersicum*, *Physalis*, *Physoclaina*, *Salpiglossis* y *Saracha* todas en la familia *Solanaceae*. Así el rango de hospederos del nemátodo blanco (*G. pallida*) está confinado a las solanáceas especialmente la papa *Solanum tuberosum*, el tomate *Lycopersicum esculentum* e híbridos y la berenjena *Solanum melonogena*. Según resultados de investigaciones realizadas el único hospedero de *Globodera* es la papa, lo cual facilita su control mediante la rotación de cultivos.¹⁵

2.2.2. *Solanum Tuberosum* “papa”

2.2.2.1. Especie

Pertenece a la subsección *Potatoe* del género *Solanum*, la cual se distingue de las restantes subsecciones del género debido a que las especies que agrupa presentan tubérculos verdaderos formados en el extremo de rizomas. La Serie *Tuberosa*, a su vez, se caracteriza por sus hojas imparipinnadas o simples, corola rotada o pentagonal y bayas redondeadas.⁸ La especie *S. tuberosum* se diferencia de las otras especies de la misma serie taxonómica por presentar la articulación del pedicelo en el tercio medio, los lóbulos del cáliz cortos y dispuestos de modo regular, las hojas frecuentemente arqueadas, los folíolos siempre ovados a lanceolados, aproximadamente del doble de largo que de ancho y los tubérculos con un período de dormición bien marcado. *Solanum tuberosum* se divide en dos subespecies: *tuberosum* y *andigena*. La subespecie *tuberosum* es la ampliamente cultivada en todo el mundo y es nativa de la isla de Chiloé, el archipiélago de Chonos y áreas adyacentes de Chile. La subespecie *andigena* se cultiva en ciertas regiones de América Central y América del Sur siendo nativa de los Andes del Perú y se distribuye desde Venezuela hasta el

noroeste de Argentina. La principal diferencia entre las dos subespecies es que la *andigena* depende de un fotoperiodo corto para tuberizar. Además de las diferencias morfológicas están diferenciadas a nivel del genoma cloroplástico y nuclear.⁵

Tabla 1. Diferencias entre *S. tuberosum* y *S. andigena*.

Características	<i>ssp. Andigena</i>	<i>ssp. Tuberosum</i>
Tuberización	Fotoperiodo corto	Fotoperiodo largo
Período vegetativo	5 – 7 meses	3 – 4 meses
Floración	Abundante por varios meses	Escasa y por corto período
Dormancia	Larga	Corta
Producción de bayas	Abundante	Poca
Forma	Variada	Uniforme
Ojos	Profundos	Superficiales
Contenido de almidón	Alto	Bajo
Porcentaje de biomasa seca	Alta	Baja
Tamaño de tubérculo	Mediano a grande	Grande en mayor porcentaje
Disecación de la hoja	Alta	Baja

Fuente: Gonzales A, Franco J. (2013).

Respecto al origen genético de ambas subespecies, actualmente la gran diversidad genética de la subespecie *andigenum* (con innumerable cantidad de variedades criollas descritas y una gran diversidad a nivel del genoma nuclear y cloroplástico) es la subespecie original y la que ha dado origen a *tuberosum*. Así, se ha documentado que existen 5 clones de cloroplastos para la subespecie *andigenum* (denominados A, C, S, T y W), mientras que la subespecie *tuberosum* presenta solo 3 tipos (A, T y W). El tipo más frecuentemente hallado en la subespecie *tuberosum* es el T, caracterizado por una delección de 241 pares de bases. Los estudios del ADN cloroplástico de variedades de ambas subespecies permitieron concluir que la subespecie *tuberosum* se originó a partir de la subespecie *andigenum* después de que esta última se cruzara con una especie tuberosa silvestre que se distribuye por el sur de Bolivia y el noroeste de Argentina, *Solanum tarijense*.²⁰

2.2.2.2. Taxonomía de las especies de papa

La papa (*Solanum tuberosum*) fue descrita por Linneo en 1753, es una planta dicotiledónea herbácea anual, pertenece a las familia de las Solanáceas que comprende géneros tan diversos como *Nicotianas*, *Lycopersicum*, *Petunia*, *Datura*, *Mandragora*, *Capsicum* y *Physalis*. La taxonomía de las papas cultivadas

y sus parientes silvestres ha sido reevaluado varias veces y los métodos moleculares han provisto información adicional, la clasificó en seis grupos *andigena*, *chaucha*, *phureja*, *tuberosum*, provenientes de *stenotomum*. Luego incluyendo a *curtilobum*, *juzepczukii*.⁸

En total ocho grupos, a *tuberosum* y *andigenum* les dio la categoría de sub especie y a las otras seis les categorizó como especie, volvió a los ocho grupos originales y finalmente propone en base a sus estudios moleculares una nueva clasificación basada en cuatro especies:⁸

- *S. tuberosum* con dos grupos de cultivares (Grupo *andigenum* de las tierras altas de los Andes conteniendo individuos diploides, triploides, tetraploides y el grupo *Chilotanum* de las tierras bajas chilenas conteniendo variedades nativas tetraploides.
- *S. ajanhuiri* originada con carácter híbrido génico a partir de STN el cual se ha hibridado con la especie silvestre resistente a heladas *S. megistacrolobum*.
- *S. juzepczukii* triploide seleccionado de la hibridación de la especie tetraploide silvestre *S. acaule* con la cultivada *stenotomun*. Se cultiva en las partes altas de los Andes desde el centro del Perú hasta el noroeste argentino, sus tubérculos son amargos. Se le consume deshidratada en forma de "chuño" o "moraya".
- *S. curtilobum* especie pentaploide de origen híbrido; sus tubérculos pertenecen al grupo de papas amargas y las plantas son de buena tolerancia a heladas. Se ha originado del cruce natural entre *S. x juzepczukii* que habría aportado gametos de $n = 3x = 36$ cromosomas con la *sub-sp. andigena* como progenitor polinizador que aportó $n = 2x = 24$ cromosomas.

2.2.2.3. Rendimiento agronómico del *Solanum tuberosum* "papa"

Relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizada. Se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea (T.M./ha.).¹⁷ El rendimiento es la producción obtenida por unidad de superficie, los componentes básicos que van a estructurarlos son:¹⁹

- Cantidad de plantas por unidad de superficie.
- Peso de tubérculo por planta.
- Cantidad de tubérculo por planta.
- Peso por tubérculo.

2.2.2.4. Términos relacionados al *Solanum tuberosum* “papa”

Según define el Código Internacional de Nomenclatura para Plantas Cultivadas son los siguientes:¹⁹

Cultivar

Un cultivar se obtiene de plantas seleccionadas artificialmente por diversos métodos a partir de un cultivo más variable, con el propósito de fijar en ellas caracteres de importancia para el obtentor que se mantengan tras la reproducción, estos caracteres deben cumplir con los requisitos de ser distintivos (que caractericen al cultivar, que lo diferencien de los demás), *homogéneos* (que se encuentren en todas las plantas del cultivar) y estables (que sean heredables). El Código no define a los cultivares por parentesco, sólo las plantas que mantienen los caracteres que caracterizan al cultivar están incluidas en ese cultivar, y viceversa, si se obtienen los mismos caracteres en un cultivo independiente se consideran plantas del mismo cultivar. Incluso puede nombrarse como cultivar una primera generación híbrida de dos líneas puras, mientras se mantengan los parentales estables. Luego de obtenido un cultivar, para ser establecido como tal debe asignársele un nombre en acordancia con las reglas del Código, luego de lo cual se registra en el Registro Internacional de Cultivares correspondiente de los listados en el Código.

El nombre es útil para su comercialización y es obligatorio en el registro de marcas, que deben ser diferentes del nombre del cultivar, y en el registro de patentes para reclamar cualquier derecho de venta de semillas en exclusividad. En patentes y ciertas leyes tanto nacionales como internacionales se lo denomina 'variedad', siendo sinónimo del cultivar tal como se define en el Código (no confundir con la variedad definida en el Código de Botánica). Los cultivares son un subgrupo del grupo más amplio definido por el botánico y horticultor inglés Liberty Hyde Bailey, el cultígeno, que se define como una planta cuyo origen o selección se debe principalmente a la intencionalidad humana.²¹ Se define como conjunto de plantas cultivadas que se pueden distinguir por sus caracteres morfológicos, fisiológicos, químicos, etc; y los cuales cuando se reproducen sexual o asexualmente mantienen sus características diferenciales.²²

Tubérculos

El tercer tipo de tallo de la papa es subterráneo y se halla engrosado como una adaptación para funcionar como órgano de almacenamiento de nutrientes, el tubérculo presenta los ojos y las lenticelas sobre la superficie.¹² Los rizomas

presentan una zona meristemática sub-apical, de donde se originan los tubérculos mediante un engrosamiento radial, producto del alargamiento de las células parenquimáticas y la pérdida de la polaridad de las mismas. Durante la formación del tubérculo, el crecimiento longitudinal del estolón se detiene y las células parenquimáticas de la corteza, de la médula y de regiones perimedulares sufren divisiones y alargamiento. En los tubérculos maduros, existen pocos elementos conductores y no hay un cámbium vascular continuo. Los tubérculos están cubiertos por una exodermis que aparece al romperse la epidermis que va engrosándose con el tiempo. Sobre su superficie existen "ojos", hundimientos para resguardar las yemas vegetativas que originan los tallos, que están dispuestos de forma helicoidal. Además, hay orificios que permiten la respiración, llamados lenticelas. Las lenticelas son circulares y el número de las mismas varía por unidad de superficie, tamaño del tubérculo y condiciones ambientales.¹⁴ Los tubérculos, en definitiva, están constituidos externamente por la peridermis, las lenticelas, los nudos, las yemas y, eventualmente, por un fragmento o una cicatriz proveniente de la unión con el rizoma del cual se originaron; internamente se distingue la corteza, el parénquima de reserva, el anillo vascular y el tejido medular. Los tubérculos pueden presentar una forma alargada, redondeada u oblonga; su color, en tanto, puede ser blanco o amarillo (pulpa), violeta, café o rojizo (la cáscara).

Variedad

Población de individuos donde la semilla tiene un genotipo diferente que también se le puede llamar cultivares donde los individuos pueden mostrar diferencias genéticas por lo que tienen una o más características por las que pueden diferenciarse de otros cultivares parecidos o de diferentes orígenes.²³

Clon

Individuos derivados por propagación vegetativa o similar de un individuo padre original; en papa este término se emplea en dos formas principales: Los mejoradores identifican como clones a los individuos dentro de una misma familia, donde cada uno de ellos es un genotipo definido que permanecerá así en el tiempo.⁸

En la producción de semilla en cambio, se denomina clon a un individuo o planta dentro de una misma variedad o cultivar; que presenta buenas características de tipo de planta y sanidad dentro de una misma población genéticamente uniforme. En el sistema de producción de semilla que se denomina sistema

clonal los lotes de semilla son el producto de la multiplicación vegetativa sucesiva (clonal) de una planta originalmente elegida como clon.¹⁵

Genotipo

La clase de la que se es miembro según el estado de los factores hereditarios internos de un organismo, sus genes y por extensión su genoma. El contenido genético de un organismo.⁸

Fenotipo

La clase de la que se es miembro según las cualidades físicas observables en un organismo, incluyendo su morfología, fisiología y conducta a todos los niveles de descripción. Las propiedades observables de un organismo.⁸

2.2.3. Respuesta de *Solanum tuberosum* a factores bióticos

Factores bióticos (plagas o agentes patógenos):

Inmunidad: cuando un organismo no sufre infección por una plaga o agente patógeno determinado.⁸

Resistencia: es la capacidad de una variedad vegetal de restringir el crecimiento y desarrollo de una plaga o agente patógeno específico y / o el daño que éstos puedan causar, cuando se comparan con variedades vegetales susceptibles de sufrirlas en similares condiciones medioambientales y de intensidad de plaga o de elementos patógenos. Las variedades resistentes pueden mostrar algunos síntomas de la enfermedad o algunos daños en condiciones de intensa presencia de plaga o del agente patógeno.⁸

Tolerancia: es la capacidad de una planta de limitar los efectos negativos de una plaga o agente patógeno específico. Dichos efectos deberán estar relacionados con aspectos como la pérdida de rendimiento.⁸

Susceptibilidad: es la incapacidad de una variedad vegetal de restringir el crecimiento y desarrollo de una plaga o agente patógeno específico.⁸

El nivel de resistencia (sobre la base de la reproducción de nemátodos) puede ser Completa, Intermedia (parcial), o No resistentes (susceptible). Evans y Cook¹⁰ indicaron que la tolerancia no es un tipo de resistencia. Sugiere que este término se utilice exclusivamente para describir la cantidad de lesiones del hospedero o la supresión del rendimiento.

La tolerancia y la resistencia pueden ocurrir simultáneamente, pero en conclusión son independientes. Esta independencia, sin embargo, no puede discernirse claramente ya que muchos cultivares resistentes también pueden ser moderadamente tolerantes.²⁴

2.2.4. Respuesta de *Solanum tuberosum* a factores abióticos

Factores abióticos (por ejemplo, productos químicos, temperatura):

Tolerancia: es la capacidad de una variedad vegetal de soportar el estrés abiótico sin que se produzcan consecuencias importantes para el crecimiento, aspecto o rendimiento.²⁵

Sensibilidad: es la incapacidad de una variedad vegetal de soportar el estrés abiótico sin que se produzcan consecuencias importantes en el crecimiento, aspecto o rendimiento.⁸

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. Naturaleza de la respuesta nematológica y agronómica

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; recientemente, la fórmula de uno de estos exudados o gradientes ha sido identificado y es un pequeño agente molecular (M - 498) producido por las raíces de la papa, el cual se denomina *Solano eclepin A*, con la fórmula C₂₇H₃₀O₉, además de otros gradientes como el de dióxido de carbono (CO₂), aminoácidos, iones, pH y los gradientes de azúcar.⁸

Durante el desarrollo siguiente, las hembras se vuelven sedentarias en las raíces. Las células radiculares que rodean a la cabeza de cada hembra se agrandan y forman las células de transferencia multinucleadas (síncitos) desarrolladas por la digestión parcial de la pared celular y la fusión posterior de protoplasma de las células que les dan una forma alargada y muestran remanentes de las paredes celulares parcialmente digeridas, un síncito puede incorporar más de 200 células en últimas instancias. La respuesta nematológica de la planta al ataque de la plaga es la producción de calosa (polisacárido común de la pared de las células de las áreas cribosas y puede observarse también en las células parenquimatosas como consecuencia de lesiones), alrededor del estilete del nemátodo y a lo largo de la superficie interior de las células afectadas. Debido a que los géneros de *Globodera* presentan alta demanda de nutrientes, estimulan crecimiento invaginados de las paredes celulares, los cuales son adyacentes a los tejidos de conducción, especialmente a los elementos traqueidales del xilema y están alineados con el plasmalema, lo que mejora a su vez el transporte de solutos a corta distancia entre el apoplasto y el simplasto. Los síncitos 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. Según varios investigadores hay dos tipos de resistencia:²⁷

- Tipo 1. Las raíces no exudan la sustancia que estimula la emergencia del segundo estado juvenil.
- Tipo 2. Los síncitos no se forman o no funcionan como fuentes de alimento para la hembra del nemátodo.

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.²⁸ 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.⁸ Además, utilizar variedades resistentes es menos costoso para el agricultor que otras medidas de control, no perjudica la ambiente, ayuda a reducir el peligro de diseminación de los nemátodos, y a mantener la infestación dentro de los niveles tolerables de daño. Los síncitos no se forman cuando se presenta una interacción controlada genéticamente entre los nemátodos y la planta de papa, a este fenómeno se le conoce como incompatibilidad. Esta interacción es específica para cada patotipo. La eficiencia de la resistencia depende de los patotipos existentes en un área y debe ser evaluada mediante experimentación. La siembra repetida de una variedad con resistencia específica, en suelos de niveles altos de infestación, puede ocasionar una selección de patotipos compatibles con la planta, hasta el grado en que la resistencia deje de ser efectiva. En cuanto a la naturaleza de la tolerancia a los nemátodos se percibe como un proceso defensivo que se ha desarrollado por la presión de selección de los factores abióticos y no de los nemátodos en sí mismos. Se sugiere que los nemátodos no causan peculiar efecto que destaca en las plantas, por lo tanto, la planta sólo responde a las consecuencias de sus actividades perturbadoras.⁸ Se sugiere además que las plantas que son tolerantes a determinadas agresiones causadas por factores abióticos también pueden ser resistentes a los nemátodos que causan las mismas tensiones.

2.3.2. Resistencia de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida*.

Posiblemente las civilizaciones preincaicas seleccionaron consciente o inconscientemente papa resistente y así contribuyeron al desarrollo de la especie

cultivada de *Solanum tuberosum ssp. andigena*, la cual es una fuente básica de resistencia a nemátodos. Adicionalmente, algunas especies silvestres de *Solanum* pueden aportar genes de resistencia útiles en mejoramiento. Centros de investigación y de mejoramiento de cultivos están introduciendo en sus rutinas la selección asistida por marcadores, porque la mayoría de los rasgos importantes en los cultivos tales como producción, calidad y algunas formas de resistencia a enfermedades son controladas por genes que pueden asociarse a marcadores moleculares.¹¹ Gracias al advenimiento de los marcadores moleculares, se ha ampliado el conocimiento de la resistencia en papa y se ha podido generar un mapa funcional que contiene las regiones cromosomales para estos loci. En papa se han encontrado dos tipos de resistencia genética a patógenos: la de hipersensibilidad, cualitativa o monogénica y la resistencia cuantitativa, de campo o poligénica. La resistencia monogénica involucra dos procesos básicos: percepción del ataque del patógeno y una respuesta nematológica para limitar la enfermedad.

La percepción implica receptores específicos para cepas patogénicas, que son decodificadas por genes de resistencia. En una planta se encuentra un gran repertorio de genes de resistencia ubicados en diferentes sitios del genoma. Se han clonado varios genes R. Estos genes expresan diferentes proteínas que pueden ser agrupadas en varias familias. La mayoría de proteínas R contiene repeticiones en grupos, ricas en leucina (LRR), las cuales pueden tener un papel importante en el reconocimiento específico. La resistencia cuantitativa, a diferencia de la cualitativa, es controlada por loci de rasgos cuantitativos (QTL) o por varios genes y comprende reacciones como: velocidad de penetración, restricciones a la penetración, restricciones a la tasa de invasión del tejido celular y velocidad de esporulación del patógeno en la planta. Estos genes actúan juntos para la defensa de la planta y la actuación de un gen puede ser insuficiente si se expresa solo. Cada planta tiene un cierto nivel de resistencia cuantitativa que responde a diferentes patógenos (no específicos). Este tipo de resistencia no es absoluta, sino que atenúa o detiene el progreso de la enfermedad y puede ser afectada por cambios en el ambiente. Sugirieron que genes similares a los R pueden contribuir a la resistencia cuantitativa. En papa se ha encontrado que 18 QTL contribuyen a resistencia cuantitativa, aunque en cada caso sólo actúan entre uno y cuatro QTL.²⁶

En términos simples, la resistencia puede ser definida como el carácter o caracteres de una planta que inhibe la reproducción de un nematodo; sin embargo, es necesario considerar que la respuesta de las plantas varía grandemente incluso dentro de una misma especie.⁸

En todos los casos, varios retrocruzamientos y entrecruzas son necesarios para introducir estos factores de resistencia. De una u otra manera los NPQ son plagas cuarentenarias, las pruebas de selección son muy difíciles de manejar. Por tanto, la mejor opción sería la mejora genética con la ayuda de la selección asistida por marcadores.¹⁵

En Perú se lanzó el material “María Huanca”, un cultivar resistente a las razas P4A y P5A de *G. pallida* y también con un gran número de clones avanzados que están siendo probados a nivel nacional para confirmar su resistencia en condiciones de campo.³

El uso de variedades resistentes es, sin duda, el método de control más efectivo, sin embargo al existir 6 patotipos de *G. pallida* esta medida puede presentar limitaciones.⁷

Aun conociendo la raza presente, el uso de variedades resistentes debe ser cuidadoso ya que generalmente en un campo infestado coexisten más de una raza (además de que pueden estar presentes las dos especies de *Globodera*); una domina sobre las otras de tal forma que no todas son detectadas, sin embargo, si se persiste en cultivar una variedad por mucho tiempo esta pequeña cantidad de quistes pertenecientes a otras razas, pueden, poco a poco incrementar su población y convertirse en un nuevo problema.¹²

Por otra parte, aun cuando se reconocen ciertos cultivares con resistencia parcial a diversos patotipos de *G. pallida*, la identificación e incorporación de resistencia es más difícil como consecuencia de su naturaleza poligénica y por la existencia de poblaciones genéticamente complejas o heterogéneas.⁸ Se ha llegado a concluir que se debe trabajar en dos procesos importantes de la dinámica poblacional del nemátodo que corresponden al poder de penetración de los estados juveniles infectivos (J2) y la fecundidad de las hembras, así una combinación de los diferentes tipos de resistencia reducirá la tasa de desarrollo de los patotipos con genes correspondientes de virulencia y aumentar así la durabilidad de la resistencia. Por tanto, cuanto menos le permita el cultivar la formación de quistes al nemátodo, menor será la presión de selección de las sub poblaciones de *G. pallida* para vencer la resistencia¹⁴. En investigaciones de

Globodera pallida se han utilizado especies silvestres de *S. brevicaule*, *S. brevidens*, *S. bulbocastanum*, *S. gourlayi*, *S. hondelmanii*, *S. oplocense*, *S. multidissectum*, *S. sparsipilum*, *S. spegazinii*, *S. sucrense* y *S. vernei*, en cruzamientos con *S. phureja*. Estos materiales mayormente tienen resistencia al nemátodo. Sin embargo, la respuesta nematológica a los patotipos conocidos han sido fruto de la acumulación de genes de estas especies en los estudios de programas de fitomejoramiento a nivel mundial. La segregación observada en poblaciones híbridas sugiere la resistencia a patotipos específicos, por tanto, esta resistencia generalmente se rompe de 4 a 6 años en campos infectados.⁸

2.3.3. Tolerancia de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida*.

Se ha reportado que las variedades peruanas mejoradas Yungay y Revolución son tolerantes a *G. pallida*, porque al relacionar la Población inicial y final (P_f / P_i) del nemátodo el coeficiente fue > 1 , lo que significa que se incrementó la población del nemátodo y a su vez este incremento no afectó el rendimiento. Pero hay que tomar en cuenta que si se monocultiva estas variedades, se puede seleccionar una población que rompa esta tolerancia.⁶

Se concluye que cuanto mayor sea el nivel de tolerancia, mayor será la multiplicación de los nemátodos. Por tanto, la resistencia al NPQ es necesaria para prevenir la acumulación de los niveles de población hasta tal punto que la tolerancia también falla. Con respecto a la multiplicación del NPQ, las diferencias entre cultivares se han encontrado tanto en presencia y en ausencia de la reacción de hipersensibilidad.⁸

2.3.4. Efecto del manejo integrado del *Solanum tuberosum*.

La caracterización de las variedades de papa en términos de nivel de tolerancia (umbral de daño – “T”) o población de *G. pallida* bajo la cual no ocurre daño (densidad o nivel de daño – “E”) o nivel de equilibrio de la población en la cual la población del nemátodo no se incrementa ni decrece y rango máximo de reproducción del nemátodo (“a”), es necesario determinar para evitar el daño y saber cuándo rotar con cultivos no hospederos.²⁴

2.3.5. Efecto de *Globodera pallida* en cultivares transgénicos de *Solanum tuberosum*.

En investigaciones estadounidenses con cultivares transgénicos de papa que afectan la quimiosensación de los nemátodos a los gradientes químicos radiculares, se trabajó con la inserción de un gen que promueve la formación de una sustancia emitida por los exudados radiculares que imita a la sustancia

acetilcolinesterasa (Aldicarb) e inhibe la quimiosensación del nematodo redujo la infección radicular de un 36 a 48%.⁸

2.4. MARCO LEGAL

2.4.1. A nivel mundial

El Decreto Legislativo N° 1059 que aprueba la Ley General de Sanidad Agraria que facilita la implementación de un programa en el Acuerdo de Promoción Comercial Perú - Estados Unidos en ella incluye combatir y destruir insectos, ácaros, agentes patógenos, nemátodos, malezas.²⁹

La Ley N° 927322 establece que la Autoridad Nacional en Sanidad Agraria es la que vela en representación del Perú en las negociaciones, convenios y programas de carácter sanitario en nemátodos, malezas, roedores u otros organismos nocivos para las plantas.³⁰

2.4.2. A nivel nacional

El año 1978 se crea el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), con el objeto de conducir la investigación aplicada y la experimentación agrícola, de crianzas, forestal, de fauna silvestre, agroindustrial y de los recursos del agua y suelo.³⁰ El INIA, en su calidad de Autoridad Nacional en Innovación Agraria, es el Ente Rector del Sistema Nacional de Innovación Agraria - SNIA y constituye su autoridad técnico-normativa a nivel nacional, dicta las normas y establece los procedimientos relacionados con su ámbito; coordina su operación técnica y es responsable de su correcto funcionamiento en el marco de la Ley y el presente Reglamento.³⁰ El Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA fue designado Autoridad en Semillas, mediante Decreto Supremo N° 006-2012-AG y por tanto es el organismo nacional competente para normar, promover, supervisar y sancionar las actividades relativas a la producción, certificación y comercialización de semillas. La protección a los derechos de los Obtentores de variedades vegetales en el Perú es un sistema *sui generis* de Propiedad Intelectual, que tiene por objetivo reconocer y garantizar la protección de los derechos del obtentor de nuevas variedades vegetales mediante el otorgamiento de un Certificado de Obtentor, con el fin de fomentar las actividades de investigación, fomentar las actividades de transferencia de tecnología al interior de la región andina y fuera de ella.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada en la presente investigación es la recomendada por Mejía y Valverde.⁷, y es utilizada como protocolo por el Centro Internacional de la Papa (CIP).²⁰

3.1. Ubicación política del invernadero

Región : Ayacucho
Departamento: Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Andrés Avelino Cáceres Dorregaray
Invernadero : Invernadero del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)
EE - Canaan

3.2. Ubicación geográfica del invernadero

Longitud : 74°12'24,49" W
Latitud : 13°09'53,08" S
Altitud : 2739 m.s.n.m.

3.3. Características del invernadero

La estación experimental Canaan lleva un registro permanente de la temperatura, humedad y pH, los mismos que son:

Temperatura promedio máxima	: 18 °C (Entre 30°C y 15°C)
Temperatura promedio mínima	: 10 °C (Entre 12°C y 4°C)
Humedad relativa	: 70 a 90 %
pH	: 6,5 – 7,5

Fuente: EE. Canaan.

3.4. Tipo de investigación

Básica – experimental

3.5. Población y muestra

Tabla 2. Población y muestra de los clones de *Solanum tuberosum* y quistes de *Globodera pallida*. INIA-Ayacucho, 2016.

POBLACIÓN		MUESTRA	
		N°	CÓDIGO
		1	284,14
		2	281,39
		3	282,32
		4	4
Clones de <i>Solanum tuberosum</i>		5	217,18
del INIA - Canaan		6	306,31
		7	302,34
		8	282,27
		9	3451,1219
		10	302,35
Quistes de <i>Globodera pallida</i> Stone		40 muestras de 20 quistes cada una,	
provenientes de campos recién cosechados		seleccionadas aleatoriamente.	
de <i>Solanum tuberosum</i> de Allpachaca.			

Las muestras de clones del *Solanum tuberosum* fueron elegidas intencionalmente a recomendación del INIA, porque poseen caracteres deseados de productividad, culinarios y resistencia a enfermedades; características que debe de cumplir un clon para que pueda ser liberado como variedad, en tanto que los quistes de *Globodera pallida* fueron seleccionados aleatoriamente con la ayuda de un estilete.

3.6. Variables e indicadores

Tabla 3. Variables e indicadores evaluados en la respuesta nematológica y agronómica de diez clones de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida* en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.

TIPOS	VARIABLES	INDICADORES
Variables independientes	Cantidad de quistes iniciales de <i>G. pallida</i>	N° de quistes/maceta
	Clones de <i>Solanum Tuberosum</i> "papa"	N° de tubérculos/maceta
Variables dependientes	Cantidad de quistes finales de <i>G. pallida</i>	N° de quistes/maceta
	Rendimiento de <i>Solanum tuberosum</i>	g/planta
		N° de tubérculos/planta

3.7. Unidad experimental

La unidad experimental estuvo constituida por una maceta conteniendo 0,4 kg de sustrato compuesto esterilizado (40 % arena fina y 60 % tierra negra), en la cual se colocó un clon de *Solanum tuberosum* (tubérculo de aprox. 15 g)/ maceta.

3.8. Tratamientos

Tabla 4. Tratamientos para la evaluación de la respuesta nematológica (resistencia), de diez clones de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida* en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.

N° DE CLONES	TRATAMIENTOS	CÓDIGO
1	c1n1	284,14
2	c2n1	281,39
3	c3n1	282,32
4	c4n1	4
5	c5n1	217,18
6	c6n1	306,31
7	c7n1	302,34
8	c8n1	282,27
9	c9n1	3451,1219
10	c10n1	302,35

cX= Clones; n0 = sin inóculo y n1 = con inóculo

Tabla 5. Tratamientos para la evaluación de la respuesta agronómica (tolerancia), de diez clones de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida* en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.

N° DE CLONES	TRATAMIENTOS	CÓDIGO
1	c1n0	284,14
	c1n1	
2	c2n0	281,39
	c2n1	
3	c3n0	282,32
	c3n1	
4	c4n0	4
	c4n1	
5	c5n0	217,18
	c5n1	
6	c6n0	306,31
	c6n1	
7	c7n0	302,34
	c7n1	
8	c8n0	282,27
	c8n1	
9	c9n0	3451,1219
	c9n1	
10	c10n0	302,35
	c10n1	

cX= Clones; n0 = sin inóculo y n1 = con inóculo

3.9. Diseño experimental

Por las características de la investigación se utilizó el Diseño Completamente Aleatorizado para ambas variables.

- Para la evaluación de la variable: “cantidad de quistes finales” de *G. pallida* (Resistencia), se trabajó con 10 tratamientos (Tabla 4), y 4 repeticiones (Tabla 6), es decir con aquellos clones de *Solanum tuberosum* inoculados con quistes de *Globodera pallida*.
- Para la evaluación de la variable: “rendimiento de *Solanum tuberosum*” (Tolerancia), se trabajó con 20 tratamientos (tabla 5), y 4 repeticiones (Tabla 7), es decir con clones de *Solanum tuberosum* inoculados y no inoculados con quistes de *Globodera pallida*.

Las evaluaciones se hicieron de manera independiente para cada clon de *Solanum tuberosum* a excepción de la variable: “cantidad de quistes finales” donde se hizo el análisis de varianza y la prueba de *HSD Tukey* al 5%.

Tabla 6. Distribución de los tratamientos en el invernadero para la evaluación de la respuesta nematológica (resistencia), de diez clones de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida* en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.

c1n1 _{r3}	c8n1 _{r4}	c3n1 _{r2}	c3n1 _{r1}	c9n1 _{r1}	c8n1 _{r2}	c2n1 _{r3}	c7n1 _{r2}	c4n1 _{r3}	c5n1 _{r2}
c2n1 _{r4}	c9n1 _{r4}	c10n1 _{r3}	c2n1 _{r2}	c2n1 _{r2}	c7n1 _{r1}	c5n1 _{r3}	c8n1 _{r1}	c5n1 _{r4}	c1n1 _{r1}
c10n1 _{r1}	c3n1 _{r3}	c7n1 _{r1}	c9n1 _{r2}	c5n1 _{r1}	c10n1 _{r4}	c4n1 _{r1}	c10n1 _{r2}	c4n1 _{r2}	c8n1 _{r3}
c6n1 _{r1}	c4n1 _{r4}	c6n1 _{r3}	c7n1 _{r3}	c6n1 _{r2}	c9n1 _{r3}	c1n1 _{r4}	c1n1 _{r2}	c3n1 _{r4}	c6n1 _{r4}

cX= Clones; n0 = sin inoculo y n1 = con inoculo r= repeticiones

Tabla 7. Distribución de los tratamientos en el invernadero para la evaluación de la respuesta agronómica (tolerancia), de diez clones de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida* en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.

c6n1 _{r4}	c3n1 _{r2}	c10n1 _{r1}	c6n0 _{r4}	c2n0 _{r1}	c7n0 _{r2}	c5n0 _{r1}	c5n0 _{r2}	c10n0 _{r3}	c8n0 _{r4}
c4n0 _{r1}	c8n1 _{r1}	c9n1 _{r1}	c3n1 _{r1}	c10n1 _{r2}	c1n0 _{r1}	c6n1 _{r3}	c8n0 _{r2}	c3n0 _{r1}	c1n1 _{r1}
c9n0 _{r1}	c5n0 _{r1}	c7n1 _{r4}	c9n1 _{r2}	c4n0 _{r2}	c7n0 _{r1}	c4n0 _{r1}	c6n1 _{r4}	c2n1 _{r2}	c9n0 _{r2}
c5n1 _{r4}	c2n0 _{r4}	c8n0 _{r1}	c10n1 _{r3}	c9n0 _{r2}	c2n0 _{r3}	c7n1 _{r1}	c1n0 _{r3}	c4n1 _{r3}	c4n0 _{r3}
c1n0 _{r2}	c6n0 _{r4}	c5n1 _{r3}	c1n1 _{r3}	c5n0 _{r3}	c6n0 _{r3}	c1n1 _{r2}	c7n1 _{r2}	c7n0 _{r4}	c3n1 _{r3}
c2n1 _{r4}	c3n0 _{r3}	c3n1 _{r4}	c10n1 _{r4}	c1n0 _{r4}	c5n0 _{r4}	c9n1 _{r3}	c2n1 _{r3}	c5n1 _{r2}	c2n0 _{r2}
c10n0 _{r1}	c4n1 _{r1}	c1n1 _{r1}	c2n1 _{r1}	c7n0 _{r3}	c4n1 _{r2}	c10n0 _{r2}	c4n1 _{r4}	c8n0 _{r3}	c9n0 _{r3}
c3n0 _{r4}	c10n0 _{r4}	c6n1 _{r4}	c8n1 _{r4}	c8n1 _{r2}	c9n1 _{r4}	c8n1 _{r3}	c3n0 _{r2}	c6n0 _{r3}	c7n1 _{r2}

cX= Clones; n0 = sin inoculo y n1 = con inoculo r= repeticiones

3.10. Características del experimento

Para validar los resultados de la investigación que exige el INIA, se ha trabajado, siguiendo la misma metodología, con variedades de papa cultivadas comercialmente, reconocidas por sus resistencia y tolerancia al *Globodera pallida*, siendo el testigo resistente la variedad “María huanca” y testigo tolerante

la variedad “Yungay”, comparando finalmente los resultados encontrados en la investigación con los que se obtienen con estas variedades.

3.11. Manejo específico del experimento

3.11.1. Prueba de Viabilidad Total (VT) del inóculo

Procedimiento: (Anexo 1. Protocolo 6)

- Se tomó al azar 20 quistes de *Globodera pallida* Stone y se colocaron en 1 ml de agua en un triturador de quistes, procediendo a triturarlos; luego fueron transferidas a un vaso precipitado enrazando el volumen de agua a 30 ml.
- Se homogenizó con una bomba de aire para pecera, se tomó 1 ml de la suspensión con una pipeta, vertiéndose en una placa de contaje; se repitió este procedimiento por 4 veces (tres alícuotas).
- Con un estereoscopio y un microscopio se contabilizó el número de huevos y larvas de cada repetición. (Anexo 02. Tabla 21).
- La viabilidad total del inóculo se calculó con la siguiente formula:

$$VT = \frac{X \cdot \text{Vol. agua total}}{q}$$

Dónde:

VT= Viabilidad total

X= promedio de huevos y estados juveniles de 4 alícuotas

q= n° de quistes triturados

- La Viabilidad Infeccion (VI) es el 60 a 70% de la viabilidad total.⁶

3.11.2. Calibración del inóculo

Procedimiento: (Anexo 1. Protocolo 1)

La inoculación adecuada para que produzca efectos la *Globodera pallida* en una planta de *Solanum tuberosum* se recomienda una densidad de 18 h y l/g de suelo para investigaciones en macetas.⁷ La viabilidad total de los quistes de *Globodera pallida* de Allpachaca fue 499 h y l/quiste (Anexo 2. Tabla 19 y 20) y la viabilidad infeccion de la *Globodera pallida* “NQP” procedente de Allpachaca es 349 h y l/quiste y las macetas de la unidad experimental estuvo con 400 g de suelo; entonces:

$$\text{N° de quistes a inocular por maceta} = \frac{18 \frac{\text{hyl}}{\text{g}} \times 400 \text{ g}}{349 \text{ hyl/quiste}} = 20 \text{ quistes}$$

3.11.3. Inoculación y siembra

Se dispuso de cada clon de papa 08 tubérculos – semilla de 15 g. Se sembró un tubérculo por maceta. Cuatro de las macetas sembradas fueron inoculadas con

el nematodo y las cuatro restantes no. Se inóculo al momento de la siembra de los tubérculos, colocando primero los quistes en la parte media de la maceta con sustrato y luego el tubérculo, el cual se lo cubrió con el sustrato restante y se regó.

3.11.4. Riego

Se regó el sustrato a capacidad de campo, la cantidad de 100 ml/unidad experimental (maceta), incrementándose de acuerdo a los requerimientos fenológicos.

3.12. Variables y métodos de evaluación

3.12.1. Evaluación de la respuesta nematológica.

Evaluación de la población final de *Globodera pallida*, se siguió el procedimiento recomendado por el Centro Internacional de la Papa (Anexo 1. Protocolos. 3; 4 y 5).

- Previa homogenización del suelo de cada maceta de cada unidad experimental (UE) pre inoculada, se tomó todo el sustrato de la maceta y se procedió mediante la metodología de flotación, para extraer los quistes de *Globodera pallida*.
- Una vez seco las muestras de quistes y restos orgánicos se procedió a la separación de quistes de la materia orgánica en acetona, donde fueron transferidos a una fiola de 50 ml utilizando un embudo.
- Se agregó hasta la mitad acetona, se agitó y se enrazó con acetona hasta el borde superior de la fiola. Se dejó en reposo de 15 a 20 segundos para que los quistes floten y la materia orgánica se precipite.
- Después se colocó en un embudo conteniendo un papel filtro sobre un matraz de Erlenmeyer de 500 ml.
- Para luego ser decantado sobre el papel filtro los quistes de *Globodera pallida* y algunos restos de materia orgánica que estuvieron en la superficie de la acetona, haciendo girar muy rápidamente la fiola; sin transferirse toda la acetona.
- Los quistes quedaron retenidos en el papel filtro y la acetona restante se recuperó del Erlenmeyer, para luego ser reutilizada. Así se procedió con todas las muestras.
- Una vez extraídos los quistes de *Globodera pallida* de cada unidad experimental, se secaron al ambiente en un secador metálico.

- Se purificaron los quistes a través de la técnica de rodamiento para eliminar impurezas utilizando papel bond de 80 g.
- Se procedió a contar los quistes extraídos con la ayuda de un estereoscopio, una cámara de conteo y un contador de quistes.

3.12.2. Evaluación de la respuesta agronómica.

Evaluación del rendimiento del clon de *Solanum tuberosum*: a la madurez fisiológica, los tubérculos se separaron de la maceta registrando el peso en g/planta y el N° de tubérculos/planta.

Análisis estadístico

Para el rendimiento de g/planta se realizó cálculos en porcentaje para fijar las diferencias existentes entre los clones de *Solanum tuberosum* inoculados con quistes de *Globodera pallida* y los no inoculados.

Para el rendimiento de N° de tubérculos / planta se hizo la prueba de “t” de Student al 5% para determinar diferencias significativas, entre las medias de las cuatro plantas inoculadas con las medias de las cuatro plantas no inoculados.

3.12.3. Evaluación de tolerancia y resistencia.

Evaluación de Tolerancia:

Para evaluar esta variable se emplearon los datos del rendimiento (g/planta) como respuesta agronómica de los 10 clones de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida* Stone que anteriormente se evaluó.

Análisis estadístico

Para determinar diferencias significativas, se realizó la prueba de “t” de Student al 5% para las medias del rendimiento o productividad de las cuatro plantas inoculadas que fueron comparadas con las medias de las cuatro plantas no inoculadas. La confiabilidad de los resultados se comprobó por la relación incremento de la población ($P_f/P_i > 1$) del testigo tolerante (Yungay).

Evaluación de Resistencia

Para evaluar esta variable se utilizó la tasa de incremento de la población del “NQP” propuesta por Seinhorst.¹³

$$I = P_f/P_i$$

Donde:

I = Tasa de incremento de la población de *Globodera pallida* Stone.

P_i = población inicial de quistes de *Globodera pallida*.

P_f = población final de quistes de *Globodera pallida*

La relación tasa de incremento entre la población final (P_f) y la población inicial

(P_f/P_i (inóculo) (P_f / P_i) que será < 1 fueron calificadas como resistentes, y la relación (P_f / P_i) que será ≥ 1 fueron calificadas como susceptibles. La confiabilidad de los datos se comprobó por la tasa de incremento de la población ($P_f / P_i < 1$) de *Globodera pallida* en el testigo resistente (María huanca).

Análisis estadístico

Análisis de Anova

Para evaluar que hay diferencias significativas entre los 10 clones se empleó el análisis de varianza unifactorial al 5%. Al encontrar diferencias significativas, se utilizó el estadístico *HSD Tukey* al 5% para poder encontrar que clones difieren de los demás y agruparlas entre sí.

3.12.4. Selección de clones de *Solanum tuberosum* en base a su respuesta nematológica y agronómica según los criterios de Cook.

Tabla 8. Criterios de Cook.¹⁴ para seleccionar los clones de *Solanum tuberosum* resistentes o tolerantes al *Globodera pallida* según su respuesta nematológica y agronómica. INIA - Ayacucho, 2016.

Determinación del nivel de resistencia	Determinación de la tolerancia	
	Tolerante (T) ($RdPn1 \geq RdPn0$)	No tolerante (NT) ($RdPn1 < RdPn0$)
Resistente (R) ($P_f/P_i < 1$)	RT	RNT
Susceptible (S) ($P_f/P_i \geq 1$)	ST	SNT

Pf: Población final del nematodo RT: Resistente tolerante
 Pi: Población inicial del nematodo RNT: Resistente No Tolerante
 RdPn1: Rendimiento de planta inoculada ST: Susceptible Tolerante
 RdPn0: Rendimiento de planta sin inocular SNT: Susceptible No Tolerante

Términos:

RT: plantas inoculadas que presentan escasa reproducción del nematodo ($I < 1$) y rendimiento igual o mayor al registrado en la planta sin inocular.

RNT: plantas inoculadas que presenten escasa reproducción del nematodo ($I < 1$) y rendimiento menor al registrado en la planta sin inocular.

ST: plantas inoculadas que presenten alta reproducción del nematodo ($I > 1$) y rendimiento igual o mayor al registrado en la planta sin inocular.

SNT: plantas inoculadas que presenten alta reproducción del nematodo ($I > 1$) y rendimiento menor al registrado en la planta sin inocular.

IV. RESULTADOS

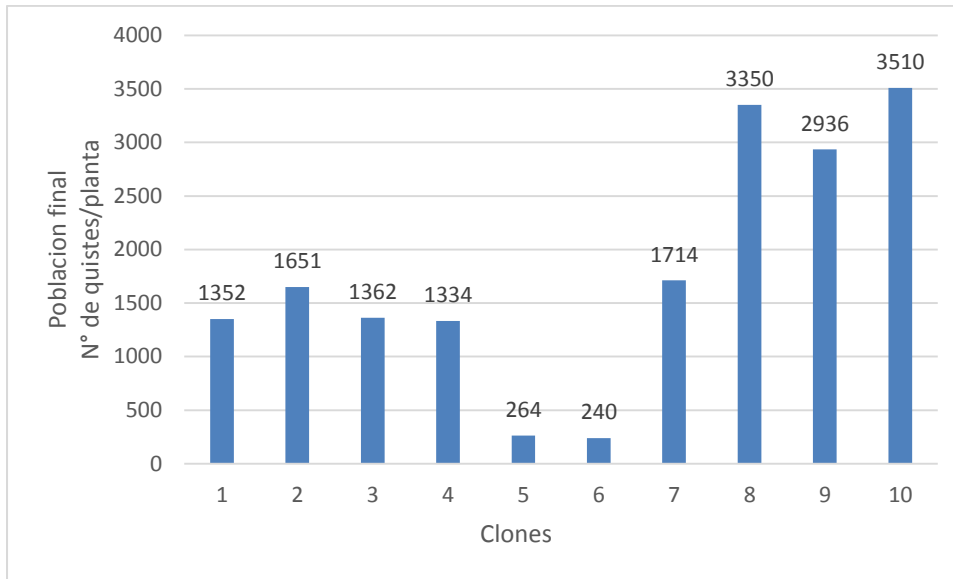


Figura 1. Valores promedio del N° de quistes/planta de *Globodera pallida* como respuesta nematológica de diez clones de *Solanum Tuberosum* en invernadero INIA – Ayacucho, 2016.

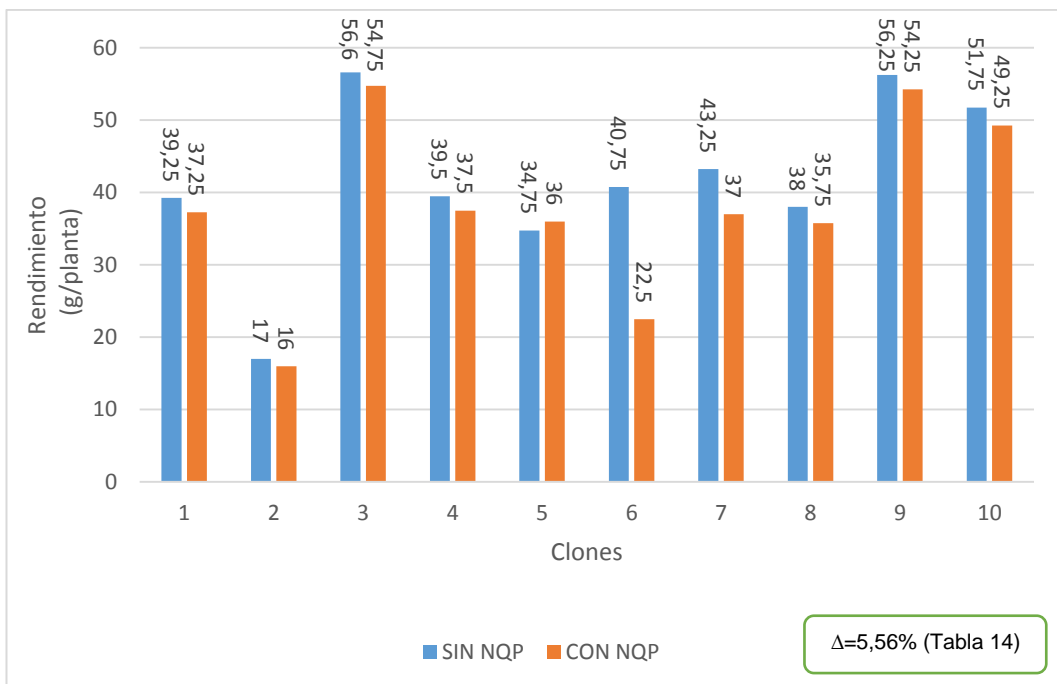
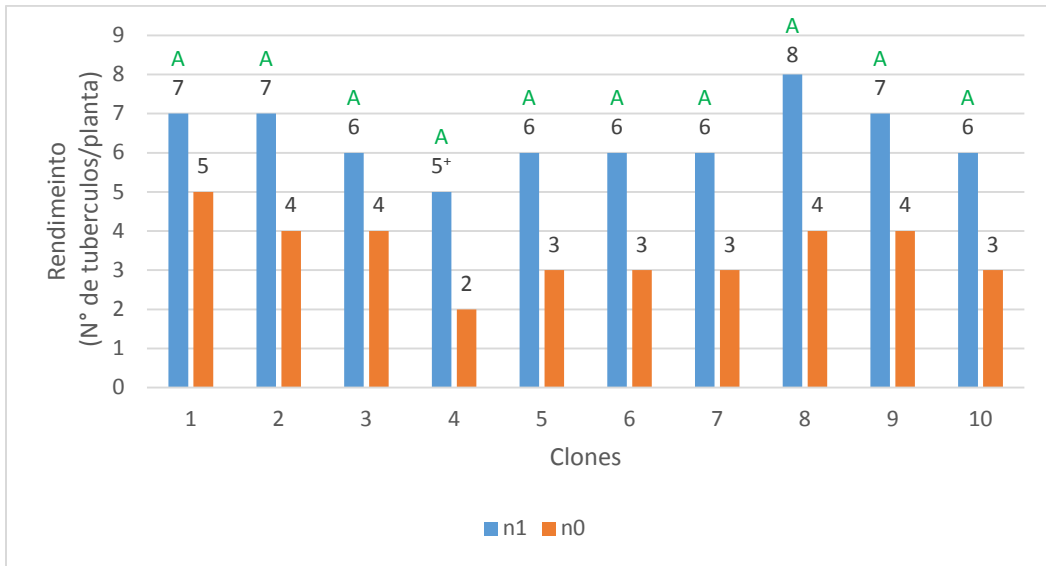


Figura 2. Valores promedio del rendimiento (g/planta), de los clones de *Solanum tuberosum* inoculados y no inoculados con *Globodera pallida* en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.



"t" de Student al 5% = A<0,05 *(42,86%) (Tabla 17)

Figura 3. Valores promedio del rendimiento (N° de tubérculos/planta) de los clones de *Solanum tuberosum* inoculados y no inoculados con *Globodera pallida* en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.

Tabla 9. Clasificación de tolerancia con la prueba de t de *Student* al 5% de diez clones de *Solanum Tuberosum* al *Globodera pallida* en invernadero. INIA – Ayacucho, 2016.

Clones	Código	Rendimiento	Rendimiento	Prueba "t"	Calificación parcial
		(g/planta)	(g/planta)	de <i>Student</i> al 5% p-valor	
		n0	n1		
C1	284,14	39,25	37,25	0,82 ^{ns}	Tolerante
C2	281,39	17,00	16,00	0,69 ^{ns}	Tolerante
C3	282,32	56,50	54,75	0,89 ^{ns}	Tolerante
C4	4	39,50	37,5	0,65 ^{ns}	Tolerante
C5	217,18	34,75	36,00	0,89 ^{ns}	Tolerante
C6	306,31	40,75	22,5	0,02 [*]	No tolerante
C7	302,34	43,25	37,00	0,68 ^{ns}	Tolerante
C8	282,27	38,00	35,75	0,85 ^{ns}	Tolerante
C9	3451,12	56,25	54,25	0,92 ^{ns}	Tolerante
C10	302,35	51,75	49,25	0,71 ^{ns}	Tolerante

*<0,05 = Significancia ns>0,05= No significancia n0 = sin inoculo n1 = con inoculo

Tabla 10. Clasificación de resistencia con la tasa de incremento de la población de *Globodera pallida* propuesta por Seinhorst.¹³, de diez clones de *Solanum Tuberosum* en invernadero. INIA – Ayacucho, 2016.

Clones	Código	Pf –Prom. Q/clones	pi Prom. Q/clones	I= Pf/Pi	Clasificación
C1	284,14	1352	20	67,6	Susceptible
C2	281,39	1651	20	82,6	Susceptible
C3	282,32	1362	20	68,1	Susceptible
C4	4	1334	20	66,7	Susceptible
C5	217,18	264	20	13,2	Susceptible
C6	306,31	240	20	12,0	Susceptible
C7	302,34	1714	20	85,7	Susceptible
C8	282,27	3350	20	167,5	Susceptible
C9	3451,1219	2936	20	146,8	Susceptible
C10	302,35	3510	20	175,5	Susceptible

I= Tasa de incremento de la población del "NQP" propuesta por Seinhorst.¹³

(Pf / Pi) < 1= resistentes (Pf / Pi) ≥ 1 = susceptibles

Tabla 11. Clasificación y selección de clones de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida* en invernadero de acuerdo a los criterios de Cook.¹⁴ INIA - Ayacucho, 2016.

Clones	Código	Clasificación de resistencia $I = Pf/Pi$		Clasificación de tolerancia t de <i>student</i> al 5%		Clasificación final
		$I \leq 1$	$I > 1$	$RdPn1 \geq RdPn0$	$RdPn1 < RdPn0$	
C1	284,14	Susceptible		Tolerante		Susceptible tolerante
C2	281,39	Susceptible		Tolerante		Susceptible tolerante
C3	282,32	Susceptible		Tolerante		Susceptible tolerante
C4	4	Susceptible		Tolerante		Susceptible tolerante
C5	217,18	Susceptible		Tolerante		Susceptible tolerante
C6	306.31	Susceptible		No tolerante		Susceptible no tolerante
C7	302,34	Susceptible		Tolerante		Susceptible tolerante
C8	282,27	Susceptible		Tolerante		Susceptible tolerante
C9	3451,1	Susceptible		Tolerante		Susceptible tolerante
C10	302,35	Susceptible		Tolerante		Susceptible tolerante

RdPn1: Rendimiento de planta inoculada RdPn0: Rendimiento de planta sin inocular

I= tasa de incremento de los quistes de *Globodera pallida*

V. DISCUSIÓN

Figura 1. Se observa la población final de la *Globodera pallida* donde los clones 5 y 6 presentaron poblaciones finales bajas que son 264 y 240 quistes y los clones 8 y 10 presentaron poblaciones de *Globodera pallida* más altas que son 3350 y 3510 quistes; mientras los demás clones presentaron alta población final del nematodo quiste de la papa que aumentaron desde 1334 hasta 2936 quistes respectivamente (Anexo 2. Tabla 19). Aunque la población de nemátodos no se incrementa tan rápidamente como sucede con los hongos o bacterias patógenas de la papa, una vez que se encuentran bien establecidos en las áreas de cultivo, aún con la tecnología moderna, son imposibles de erradicar⁷

Figura 2. Se puede observar la diferencia en la mayoría de los clones que recibieron inóculo demuestran menor rendimiento (g/planta), es decir que *Globodera pallida* afecta disminuyendo el rendimiento (g/planta), este comportamiento coincide con las investigaciones reportadas por^{7y8} quienes mencionan que la *Globodera pallida* afecta en el rendimiento y la calidad de los tubérculos; así, el promedio general de rendimiento (g/planta) corresponde a los clones n1, un 5,56 % menos que en los clones n0 (Anexo 02. Tablas. 13; 14 y 15). El clon 6 muestra una diferencia mayor en rendimiento (g/planta), que es 28.85 % (Anexo 02. Tabla. 15). entre el clon n1 y n0 con *Globodera pallida* en comparación con los demás clones.

Esta diferencia se debe a los daños directos de *Globodera pallida* que están relacionados con la interferencia de la actividad fisiológica de la raíz de la papa, que trae como consecuencia la reducción del rendimiento y la calidad de los tubérculos.⁶ Los daños indirectos están referidos a la interacción con otros patógenos del suelo. Las pérdidas que ocasiona el nematodo quiste de la papa son difíciles de estimar y frecuentemente varían con el grado de infestación del terreno y la población del nematodo. Generalmente se considera que los daños

en rendimientos del tubérculo de papa pueden ser del 13% al 58 % de la producción total.⁸

Figura 3. Se observa la diferencia en el número de tubérculos promedio entre los clones inoculados y no inoculados; donde los clones inoculados presentan mayor cantidad de tubérculos con respecto a los clones no inoculados. Sometiendo a una prueba “t” de *Student* al 5% encontramos diferencias significativas (Anexo 2. Tabla 25); porcentualmente la diferencia en el rendimiento (N° de tubérculos/planta), en los clones inoculados fueron superiores en un 30,07% a los clones sin inocular (Anexo 2. Tabla 16; 17 y 18), esta diferencia es debida a la baja relación tallo/raíz en las accesiones afectadas por el nematodo, es decir que la mayor cantidad de raíces formadas por efecto del nematodo para colonizarlas, sumado a esto la tolerancia de los cultivares, produjo raíces potenciales para tuberizar⁶, situación que concuerda con lo expuesto por Mejía *et al.*,⁷ quien dice: en consecuencia la reducción de las plantas infectadas por el nemátodo es el resultado combinado de variados efectos sobre la fisiología de la planta, porque las plantas muestran una baja relación tallo/raíz ya que los fotosintatos son desviados hacia el desarrollo de las raíces y no del tallo, lo cual afecta positivamente la cantidad de tubérculos pero de menor tamaño. El clon 8 inoculado presentó mayor cantidad de tubérculos en relación a los demás clones y en el clon 4 muestra la mayor diferencia entre n1 y n0 que es de 42.86 %. (Anexo 02. Tabla 18).

La infección disminuye también el contenido de Potasio, Fósforo y Magnesio, aumenta la absorción de calcio y altera por ende el balance K / Ca.¹⁷ Por consiguiente el retraso en el crecimiento provoca pérdidas de dos maneras: en primer lugar pocos tubérculos se desarrollan y en segundo lugar la reducción del periodo de crecimiento por el retraso en el crecimiento inicial y la rápida senescencia de la planta causada por la poca interceptación luminosa al poseer reducida área foliar. Por último, *Globodera* tiene interacciones con otros patógenos, principalmente con hongos de las especies *Verticillium dahliae*, *Rhizoctonia solani*, bacterias como *Pseudomonas solanacearum* y otros, se trata de “asociaciones” o “complejos”, en los cuales los daños producidos son más graves que los ocasionados por cada patógeno por separado.¹²

Tabla 9. Se observó la evaluación de tolerancia con la prueba “t” *Student* al 5% donde el clon 6 muestra una significancia menor a 0,05 por lo que es No Tolerante al *Globodera pallida* es decir presentó una reducción significativa en el

rendimiento (g/planta) de los clones inoculados (n1) respecto a los clones no inoculados (n0) (Anexo 2. Tabla 24); cuando las densidades son altas (18 h y l/g de suelo); concordando con que hay reducción de la masa radicular y finalmente hay diferencias significativas o reducción en el rendimiento (g/planta) del cultivo.⁷ Mientras los demás clones son tolerantes al nematodo quiste de la papa porque no presentan una diferencia significativa en el rendimiento (g/planta) de los clones no inoculados (n0) e inoculadas (n1) concordando con el testigo tolerante Yungay.

Se ha reportado que las variedades peruanas mejoradas Yungay y Revolución son tolerantes a *Globodera pallida*, porque al relacionar la población inicial y final (P_f / P_i) del nematodo el coeficiente fue > 1 , lo que significa que se incrementó la población del nematodo y a su vez este incremento no afectó el rendimiento (g/planta).⁶ Cuanto mayor sea el nivel de tolerancia, mayor será la multiplicación de los nemátodos. Por tanto, la resistencia a la *Globodera pallida* es necesaria para prevenir la acumulación de los niveles de población hasta tal punto que la tolerancia también falla.⁷

Tabla 10. Se muestra la evaluación de resistencia utilizando la tasa de incremento de la población ($I=P_f/P_i$), todos los clones presentaron una tasa de incremento de la población final de *Globodera pallida* > 1 , lo que demuestra incremento de la población inicial, por lo que afirmamos que todos los clones son susceptibles (Anexo 02. Tabla 19); entonces haciendo el análisis de varianza de un factor (Anexo 02. Tabla 20), de la población final de *Globodera pallida* aceptamos la H_i y concluimos que si existe diferencias significativas entre los 10 clones al 95% de confiabilidad por lo que se hizo la prueba de *HSD Tukey* al 5% (Anexo 02. Tabla 21 y 26), donde nos muestra 3 grupos con diferencias significativas; El grupo 1 que presentan un menor incremento de la población del nematodo quiste de la papa que fueron los clones 306,31; 217,18;4; 284,14 y 281,32 considerados con la respuesta deseada y en el grupo 3 se ubicaron a los clones 282,27 y 302,35 respectivamente por presentar mayor incremento de la población del nematodo quiste de la papa y por ello pueden ser utilizados como testigo referencial de la susceptibilidad en una investigación posterior.

Tabla 11. Muestra la selección de los clones de acuerdo a los criterios de Cook según su respuesta nematológica y agronómica de diez clones de *Solanum tuberosum* "papa" al *Globodera pallida* en invernadero; que a excepción del clon 6 todos son tolerantes susceptibles; mientras el clon 6 es no tolerante y

susceptible; clon que se descarta para usar en una próxima investigación en la mejora de genotipos para la resistencia al nematodo quiste de la papa.

Los clones 217,18 y 4 fueron clasificados y seleccionados para que puedan ser utilizadas en PNIA ya que de alguna manera minimizan el incremento de la población del nematodo quiste de la papa, además son tolerantes, es decir que el nematodo no hace efecto en el rendimiento de estos clones. Estos clones pueden ser potencialmente importantes para futuros proyectos de fitomejoramiento así como programas de Manejo Integrado en cuanto a rotación de cultivos.⁶

En Perú se lanzó el material “María Huanca”, un cultivar resistente a la *Globodera pallida* y también con un gran número de clones avanzados que están siendo probados a nivel nacional para confirmar su resistencia en condiciones de campo. Con los cultivares resistentes se busca evitar las pérdidas y disminuir la población del nematodo, lo que en muchos casos equivale a 5 a 7 años de rotación.¹⁵

El uso de variedades resistentes es, sin duda, el método de control más efectivo, sin embargo al existir 6 patotipos de *Globodera pallida* esta medida puede presentar limitaciones. Aun conociendo la raza presente, el uso de variedades resistentes debe ser cuidadoso ya que generalmente en un campo infestado coexisten más de una raza (además de que pueden estar presentes las dos especies de *Globodera*); una domina sobre las otras de tal forma que no todas son detectadas.⁸

VI. CONCLUSIÓN

1. Los diez clones de *Solanum tuberosum* presentaron diferente respuesta nematológica (resistencia), y agronómica (tolerancia), al *Globodera pallida* Stone, por lo que se aceptó la hipótesis de investigación; donde los clones 217,18 y 306,31 mostraron bajas cantidades de *Globodera pallida* que fueron 264 y 240 quistes, mientras que los demás clones presentaron altas cantidades desde 1334 hasta 3510 quistes, en el rendimiento (g/planta), los clones de *Solanum tuberosum* que fueron inoculadas (n1) con *Globodera pallida* mostraron 5,6% menos a los rendimientos de los clones sin inocular (n0); mientras en (N° de tubérculos/planta), los clones inoculados (n1) fueron 30,07% mayores a aquellos clones no inoculados (n0), No hay clones resistentes; todos son susceptibles, nueve clones tolerantes al *Globodera pallida*; a excepción del clon 306,31 que es No tolerante; hay nueve clones susceptibles-tolerantes y un clon no tolerante-susceptible de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida*.

VII. RECOMENDACIONES

1. Al responsable del Área de Raíces y Tuberosas del INIA, utilizar los clones 284,14; 281,39; 282,32; 4; 217,18; 302,34; 282,27; 3451,12; 302,35 que resultaron ser tolerantes al *Globodera pallida* en esta investigación independientemente de su resistencia.
2. Al jefe del Área de Investigación de la UNSCH, incentivar investigaciones con los clones 217,18; 4; 284,14; y 281,32 que mostraron tolerancia y un menor incremento de *Globodera pallida*.
3. En futuras investigaciones, considerar el clon 306,31, como testigo o referencia debido a que es susceptible y no tolerante al *Globodera pallida*.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

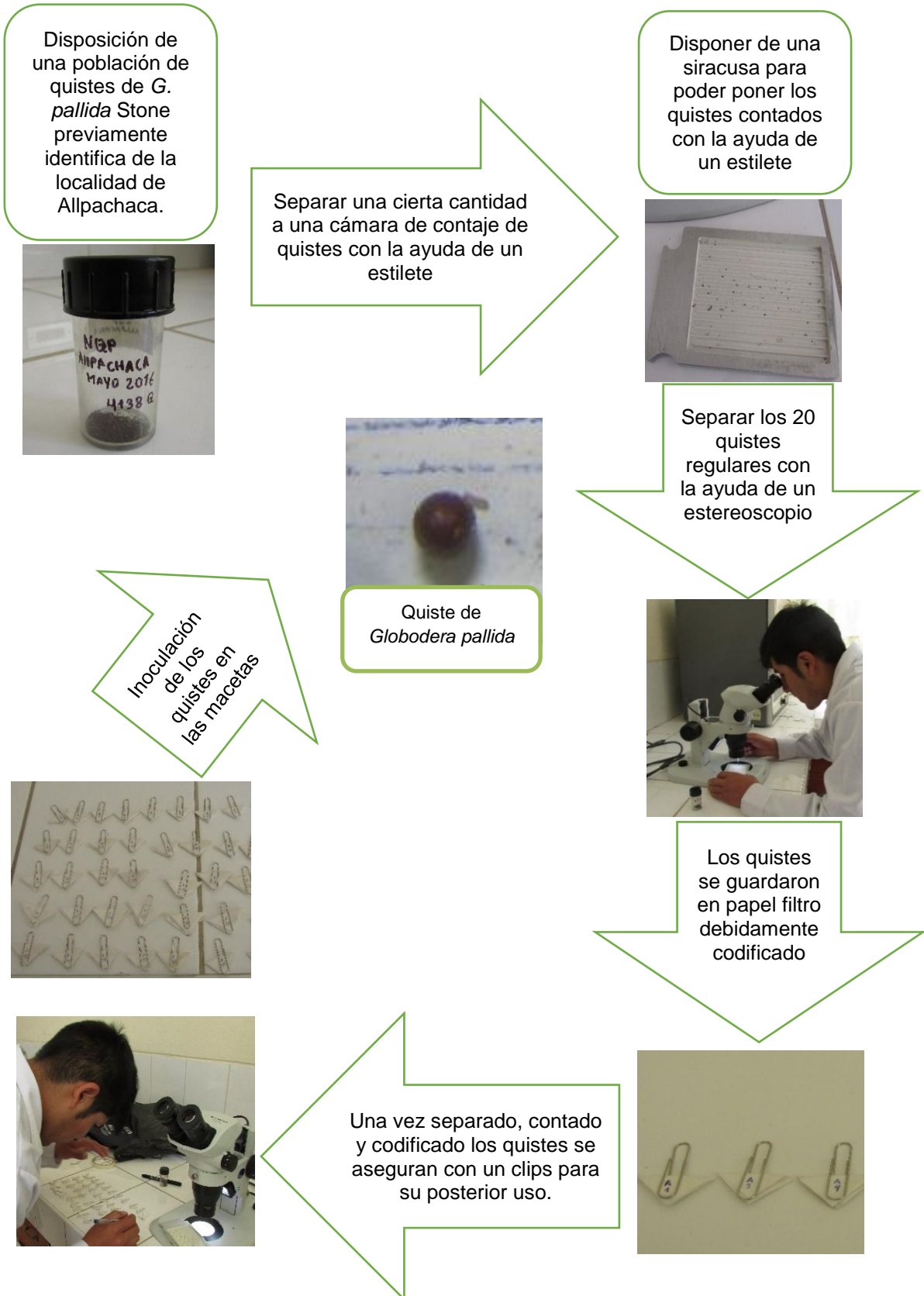
1. Gómez Campos E. Comportamiento de Clones de la papa al ataque de los nemátodos Quiste de *Globodera pallida* spp. Ayacucho. Tesis UNSCH - Ayacucho - Perú. 1996.
2. Guillen Dante C. Evaluación de 93 colecciones de papa del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga; Tesis UNSCH, Ayacucho. 2000.
3. Store A. *Heterodera rostochiensis*. C.I.H. Descriptions of Plant Parasitic Nematodes. London – UK. 1973.
4. Gómez Quispe A. “Niveles de infestación de *Globodera* spp., en los campos de producción de papa de la provincia de Huanta – Ayacucho, 2000”. Tesis UNSCH – Ayacucho -Perú. 2004.
5. Palomino Arango E. “Identificación de nemátodos del quiste de la papa *Globodera* spp., de seis localidades del departamento de Ayacucho. Tesis UNSCH – Ayacucho - Perú. 1992.
6. Franco J, y González A. Pérdidas causadas por el nemátodo quiste de la papa (*Globodera* sp.) en Bolivia y Perú. Revista Latinoamericana de la Papa 2011;16(2):1-17.
7. Mejía M, Valverde W. Comportamiento de 24 accesiones de papa (nativas, comerciales y clones promisorios) al parasitismo del nemátodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*) en invernadero. Cutuglagua–Pichincha. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. UTC. Latacunga. 2011.
8. Riera Suarez W. Evaluación de la resistencia, tolerancia y susceptible de 24 variedades de papa nativas al parasitismo del nematodo del quiste de la papa (*globodera pallida*) en invernadero Cutuglahua – Pichincha, 2009.
9. Ruiz M. Plaga del Nemátodo del Quiste de la Patata, Plan para su control en zonas infestadas. M. A. P. A. ed. España. 1987.
10. Pérez Cueto C. Comportamiento de clones resistentes de papa a poblaciones del nematodo quiste *Globodera* spp. Tesis MSc. UNA La Molina. Lima – Perú. 1987.
11. Oyarzún P. Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades. Enfermedades causadas por nemátodos. Encontrado en: Pumisacho M. y Sherwood, S. 2002.
12. Franco J, y González A. Evaluación de plántulas para resistencia al nemátodo del quiste de la papa *Globodera* spp. II: Prueba masal. Fitopatología. CIP Lima – Perú. 1986.
13. Seinhorst J. Dynamics of populations of plant parasitic nematodes. Institute of Phytopathological Research ed. Wagenigen – Netherlands. 1970.
14. Cook R. Nature and inheritance of Nematode resistance in cereals. 2nd International Congress of Phytopathology 165. Minneapolis, Minnesota – United States. Journal of Nematology; 1974.
15. González A, Franco J. Centro internacional de la PAPA (CIP); Los Nemátodos en la producción de semilla de papa, 2013.
16. Guerra T. Biodiversidad de nemátodos del quiste, Tylenchyda, Heteroderinae, asociados a cultivos de importancia económica en la región central de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación ed. San Carlos – Guatemala. 2009.
17. Mc J. Molecular Approaches Toward Resistance to Plant-Parasitic Nematodes. Washington University School ed. Washington – United States, 2008.

18. Revelo J. Calibración de *G. pallida*; Departamento Nacional de Protección Vegetal (DNPV). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Cutuglagua, Pichincha. 2010.
19. Franco J. Nematodos del quiste de la Papa (*Globodera spp.*). Centro Internacional de la Papa CIP. Boletín de Información Técnica N° 9. 1981.
20. Franco J, González A y Matos A. Evaluación de resistencia de la papa al nematodo del quiste *Globodera pallida*. CIP Lima – Perú. Nematrópica, 1990.
21. Liu B, Hibbard J, Urwin P, and Atkinson, H. The production of synthetic chemo disruptive peptides in planta a disrupts the establishment of cyst nematodes. USDA ed. Unite States. Plant Biotech J3. 2005.
22. Ames T. “Compendio de las enfermedades de la papa”. Centro Internacional de la papa. Lima, Perú, 1980.
23. Pacheco Flores J. Comportamiento de ocho variedades de la papa (*Solanum tuberosum L*) frente al ataque y multiplicación de *Globodera spp.*, bajo condiciones de invernadero. Tesis UNAS. Perú, 1999.
24. Franco J. Gonzales A. y Matos, A. Manejo integrado de nemátodos Quiste de la papa. Programa de investigación (CIP). Lima – Perú. Programa de investigación de la papa (PROINPA), Cochabamba – Bolivia. 1993.
25. Ruano H. Evolución de las poblaciones de Nemátodos (*Globodera spp.*) en patata en Mallorca. Consejería de Economía. Agricultura. Comercio e Industria palma de Mallorca – España, 1999.
26. Gonzales A. y Franco J. Técnicas y método para el Nematodo Quiste de la papa. CP. PROINPA. Lima - Perú, 1993.
27. Contreras A. Historia y origen de la papa cultivada. Influencia de la papa nativa del sur de Chile en el mejoramiento de la especie a nivel mundial. Universidad Austral de Chile ed. XI Reunión de la Asociación chilena de papa. Puerto Varas – Chile. 2006.
28. Scurrah M. Manual de Manejo de Nemátodos en campos de papa en el Perú. SENASA ed. Lima – Perú. 2008.
29. Ministerio de Agricultura. Separata de Normas Legales; Leyes de Sanidad Agraria; lima (28-06-2008) pp.1-6
30. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA); Marco legal; Leyes y normas generales; Apartado postal. 2791;(06-02-2017; 06-02-2017; 2017.) (WWW.inia.gob.pe;1041-2017).
31. Estación experimental; Canaan. Registro de parámetros ambientales. INIA; Ayacucho. 2017:8-15.

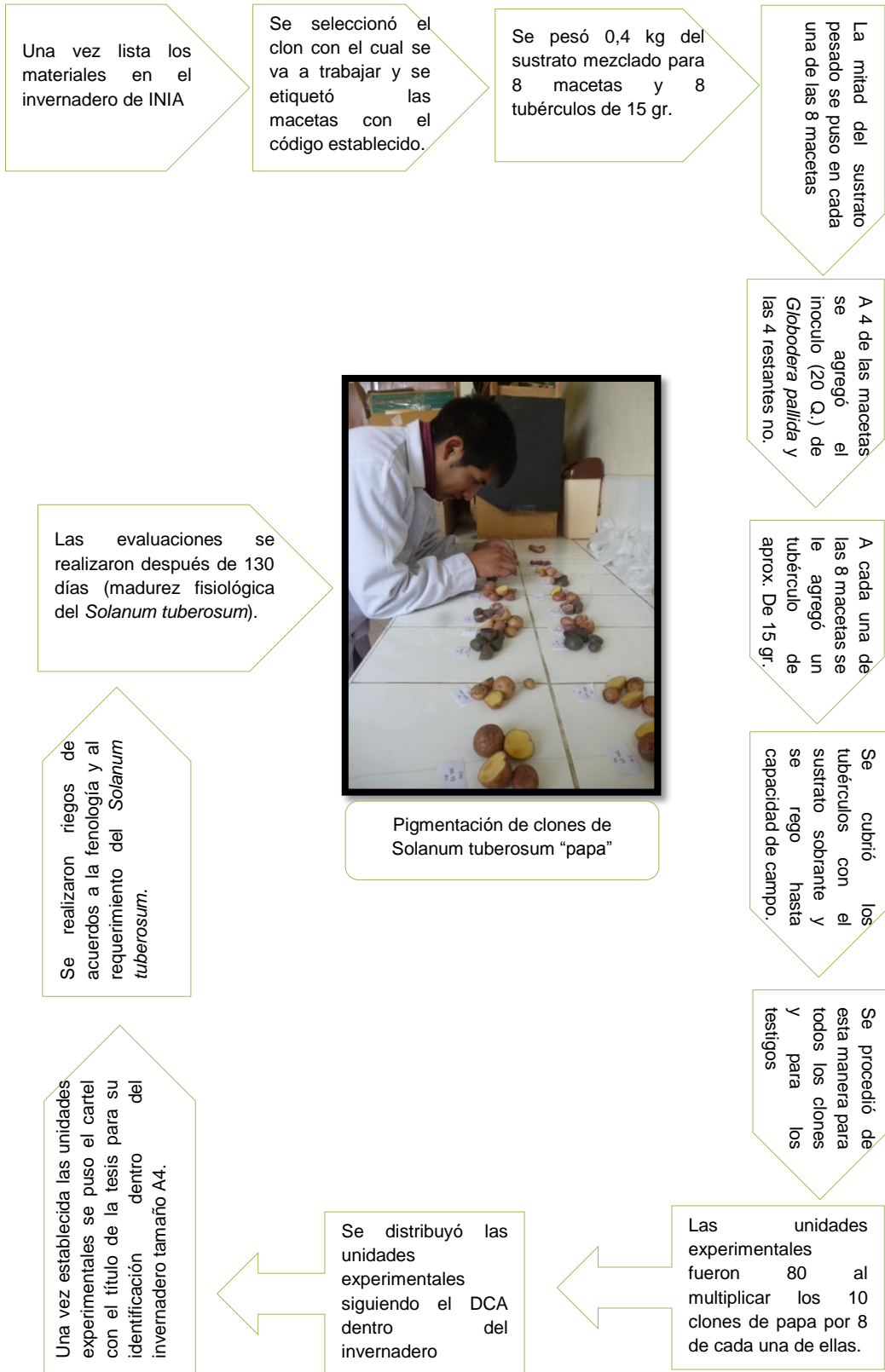
ANEXOS

ANEXO 1. Protocolos

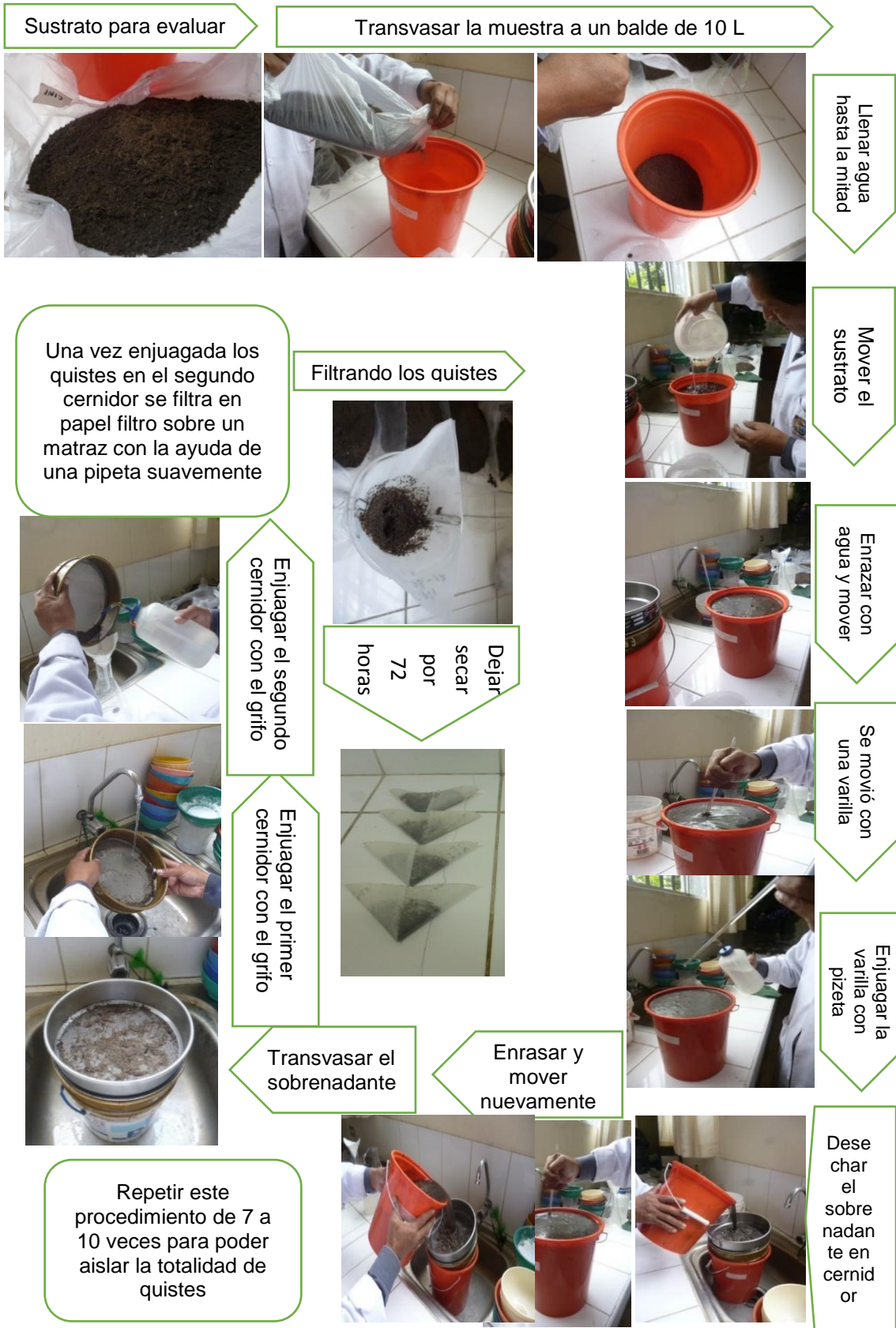
Protocolo 1. Para preparar el inóculo de quistes de *Globodera pallida*.



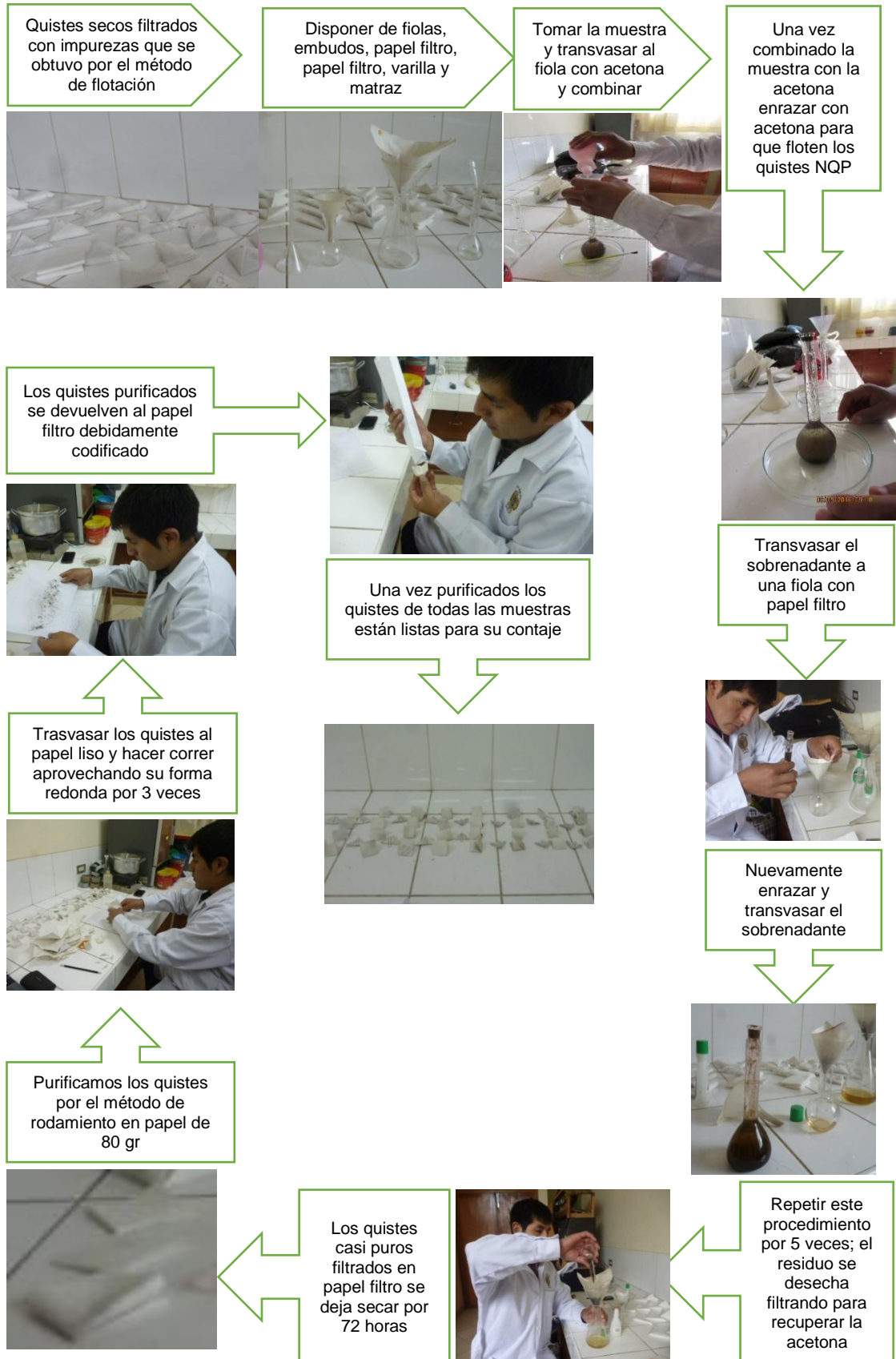
Protocolo 2. Para el establecimiento de la investigación en invernadero. INIA-Ayacucho, 2016.



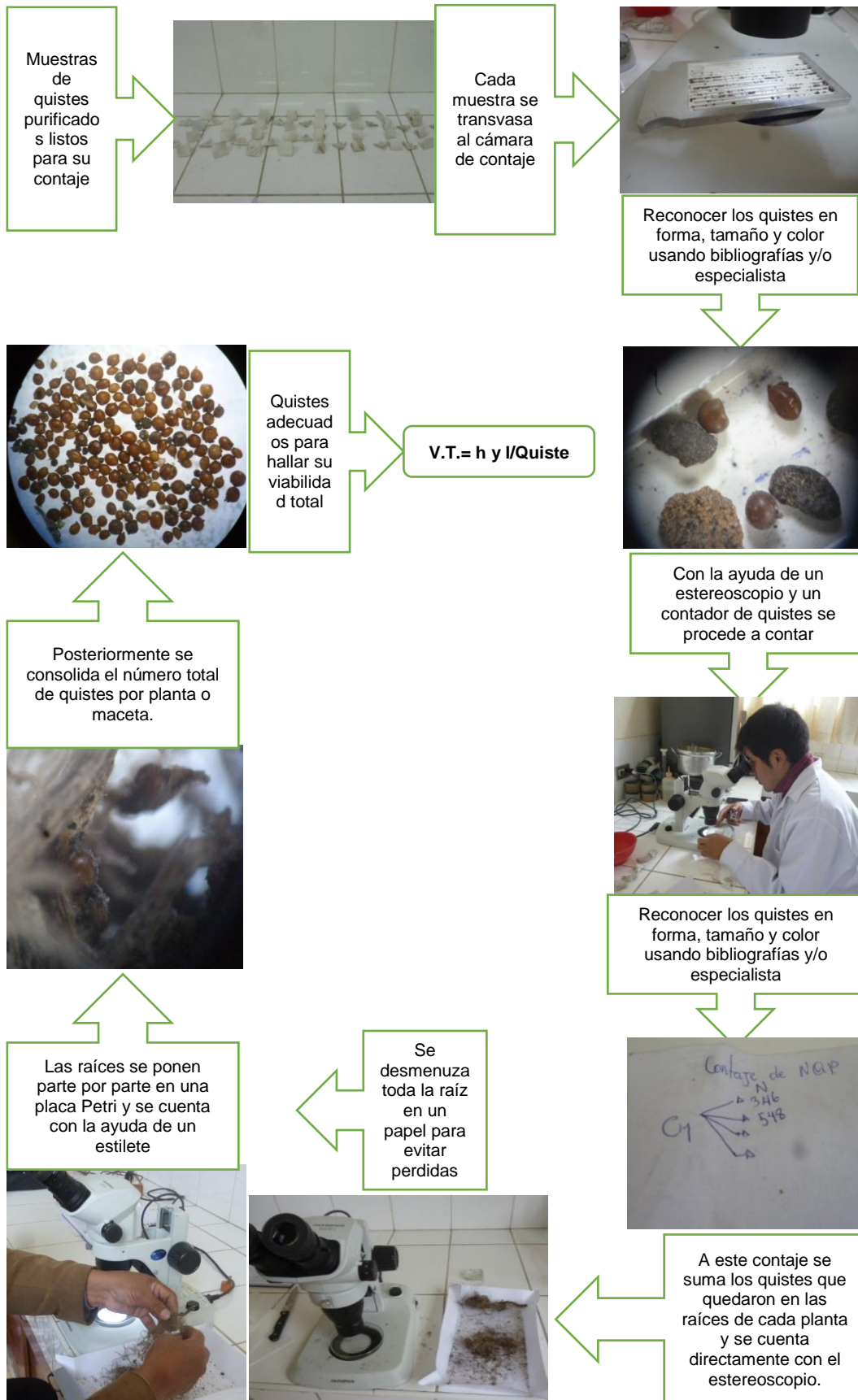
Protocolo 3. Para aislar los quistes de *G. pallida* por la técnica de flotación



Protocolo 4. Para purificar los quistes de *Globodera pallida* por la técnica de acetona y rodamiento. INIA - Ayacucho. 2016.



Protocolo 5. Para conteo de quistes de *Globodera pallida*.



Protocolo 6. Para hallar la viabilidad total de los quistes de *Globodera pallida*.



Seleccionar
20 quistes
al azar



Triturar
los
quistes
con tubos
de
ensayo



Liberar
todos los h y
l del quiste



Transvasar a
un vaso
precipitado y
enrazar a 30 ml

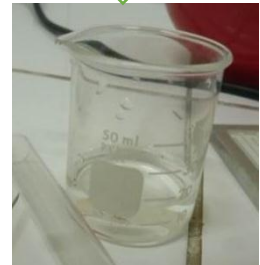
J1 MOMENTO EN QUE
ESTA EMERGIENDO
DEL HUEVO

Aumento: 40X



Observacion
en microscopio

$$VT = \frac{X \times Vol. \text{ agua total}}{q}$$



Sacar con pipeta 1
ml de muestra y
colocar en una
cámara de conteo
previa homogenizada
a 300 rpm

Calcular la
viabilidad total
con la siguiente
formula:



Con la ayuda de un
microscopio contar
en cada casillero los
h y l de *Globodera
pallida* Stone



Anexo 2. Tablas

Tabla 12. Ficha de recolección de datos

Evaluación de la respuesta nematológica y agronómica de diez clones de *Solanum tuberosum* "papa" al *Globodera pallida* Stone en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.

Tiempo: 4 meses		Población de NQP:.....		FECHA: Siembra.....Cosecha.....		
PARAMETROS						
	NQP	R	NQP/maceta inicial	NQP/maceta final	Rendimiento en g/planta	Rendimiento : N° de tubér. /planta
CLON:..... CODIGO:.....						
			1			
			2			
	n0		3			
			4			
			1			
	n1		2			
			3			
		4				

Tabla 13. Valores promedio del rendimiento (g/planta) de 10 clones de *Solanum tuberosum* no inoculados con *Globodera pallida*. INIA- Ayacucho, 2016.

CLONES		gr/planta	
N°	CODIGO	REPETICIONES	PROMEDIO
1	284,14	46,00	39,25
		25,00	
		52,00	
		34,00	
2	281,39	17,00	17,00
		16,00	
		18,00	
		87,00	
3	282,32	52,00	56,50
		52,00	
		35,00	
		36,00	
4	4	43,00	39,50
		44,00	
		35,00	
		45,00	
5	217,18	25,00	34,75
		32,00	
		37,00	
		40,00	
6	306,31	43,00	40,75
		39,00	
		41,00	
		56,00	
7	302,34	43,00	43,25
		45,00	
		29,00	
		51,00	
8	282,27	18,00	38,00
		46,00	
		37,00	
		46,00	
9	3451,1219	68,00	56,25
		96,00	
		15,00	
		54,00	
10	302,35	38,00	51,75
		64,00	
		51,00	
PROMEDIO FINAL			41,70

Tabla 14. Valores promedio del rendimiento (g/planta) de 10 clones de *Solanum tuberosum* inoculados con *Globodera pallida*. INIA- Ayacucho, 2016.

CLONES		gr/planta	
N°	CODIGO	REPETICIONES	PROMEDIO
		27,00	
1	284,14	50,00	37,25
		29,00	
		43,00	
		18,00	
2	281,39	21,00	16,00
		10,00	
		15,00	
		62,00	
3	282,32	39,00	54,75
		61,00	
		57,00	
		47,00	
4	4	37,00	37,50
		31,00	
		35,00	
		44,00	
5	217,18	52,00	36,00
		27,00	
		21,00	
		25,00	
6	306,31	6,00	22,50
		25,00	
		34,00	
		21,00	
7	302,34	11,00	37,00
		69,00	
		47,00	
		17,00	
8	282,27	42,00	35,75
		27,00	
		57,00	
		48,00	
9	3451,1219	54,00	54,25
		34,00	
		81,00	
		47,00	
10	302,35	53,00	49,25
		41,00	
		56,00	
PROMEDIO FINAL			38,03

Tabla 15. Valores de la diferencia porcentual del rendimiento (g/planta) de 10 clones de *Solanum tuberosum* inoculados y no inoculados con *Globodera pallida*. INIA- Ayacucho, 2016.

N°	CLONES CODIGO	PROMEDIO gr/planta		Diferencia en %
		n1	n0	
1	284,14	39,25	37,25	2,61
2	281,39	17,00	16,00	3,03
3	282,32	56,50	54,75	1,57
4	4	39,50	37,50	2,60
5	217,18	34,75	36,00	1,77
6	306,31	40,75	22,50	28,85
7	302,34	43,25	37,00	7,79
8	282,27	38,00	35,75	3,07
9	3451,1219	56,25	54,25	1,81
10	302,35	51,75	49,25	2,48
PROMEDIO GENERAL				5,56

n0 = sin inoculo n1 = con inoculo

Tabla 16. Valores promedio del rendimiento (N° de tubérculos /planta) de 10 clones de *Solanum tuberosum* no inoculados con *Globodera pallida*. INIA-Ayacucho, 2016.

CLONES		N° de tubérculos/planta	
N°	CODIGO	REPETICIONES	PROMEDIO
		4	
1	284,14	6	5
		3	
		4	
		5	
2	281,39	3	4
		4	
		3	
		4	
3	282,32	4	4
		3	
		2	
		2	
4	4	1	2
		1	
		2	
		3	
5	217,18	2	3
		4	
		2	
		2	
6	306,31	4	3
		2	
		3	
		3	
7	302,34	2	3
		3	
		1	
		6	
8	282,27	1	4
		5	
		4	
		5	
9	3451,1219	1	4
		5	
		4	
		3	
10	302,35	5	3
		3	
		1	
PROMEDIO FINAL			4

Tabla 17. Valores promedio del rendimiento (N° de tubérculos /planta) de 10 clones de *Solanum tuberosum* inoculados con *Globodera pallida*. INIA-Ayacucho, 2016.

CLONES N°	CODIGO	N° de tubérculos/planta	
		REPETICIONES	PROMEDIO
		7	
1	284,14	6	7
		5	
		8	
		8	
2	281,39	7	7
		4	
		6	
		4	
3	282,32	6	6
		7	
		5	
		6	
4	4	4	5
		3	
		6	
		7	
5	217,18	6	6
		5	
		4	
		3	
6	306,31	7	6
		6	
		5	
		7	
7	302,34	7	6
		4	
		3	
		7	
8	282,27	8	8
		6	
		8	
		6	
9	3451,1219	7	7
		8	
		7	
		7	
10	302,35	6	6
		6	
		4	
PROMEDIO FINAL			7

Tabla 18. Valores de la diferencia porcentual del rendimiento (N° de tubérculos/planta) de 10 clones de *Solanum tuberosum* inoculados y no inoculados con *Globodera pallida*. INIA- Ayacucho, 2016.

N°	CLONES CODIGO	PROMEDIO N° de tubérculos/planta		Diferencia en %
		n1	n0	
1	284,14	7,00	5,00	16,67
2	281,39	7,00	4,00	27,27
3	282,32	6,00	4,00	20,00
4	4	5,00	2,00	42,86
5	217,18	6,00	3,00	33,33
6	306,31	6,00	3,00	33,33
7	302,34	6,00	3,00	33,33
8	282,27	8,00	4,00	33,33
9	3451,1219	7,00	4,00	27,27
10	302,35	6,00	3,00	33,33
PROMEDIO GENERAL				30,07

n0 = sin inoculo n1 = con inoculo

Tabla 19. Valores promedio de la población final de quistes de *Globodera pallida* en diez clones de *Solanum tuberosum*. INIA- Ayacucho, 2016.

N°	CLONES CODIGO	NQP	
		REPETICIONES	PROMEDIO
1	284,14	1012	1351,50
		1416	
		990	
		1988	
2	281,39	1378	1651,00
		1346	
		2948	
		932	
3	282,32	876	1362,00
		2318	
		1288	
		966	
4	4	1056	1333,50
		1186	
		1276	
		1816	
5	217,18	250	263,25
		210	
		272	
		321	
6	306,31	256	239,50
		210	
		291	
		201	
7	302,34	1663	1713,75
		1424	
		1601	
		2167	
8	282,27	2041	3350,00
		3856	
		3846	
		3657	
9	3451,1219	3486	2936,00
		3993	
		2264	
		2001	
10	302,35	3595	3509,75
		2490	
		3883	
		4071	
11	Yungay	2021	2615,25
		3470	
		1885	
		3085	
12	María huanca	19	19,50
		20	
		19	
		20	

Tabla 20. Valores del análisis de varianza de la población final de quistes de *Globodera pallida* en diez clones de *Solanum Tuberosum* al *Globodera pallida* en invernadero. INIA – Ayacucho, 2016.

ANOVA de un factor					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	48179459,73	9	5353273,30	13,91	0,00
Intra-grupos	11542451,25	30	384748,38		
Total	59721910,98	39			

*<0,05 = Significativo

Tabla 21. Valores de la prueba de *HSD Tukey* al 5% para la población final de quistes de *Globodera pallida* en la evaluación de resistencia de diez clones de *Solanum Tuberosum*. INIA – Ayacucho, 2016.

		<i>HSD de Tukey</i>		
		1	2	3
306,31	4	239,50		
217,18	4	263,25		
4	4	1333,50		
284,14	4	1351,50		
282,32	4	1362,00		
281,39	4	1651,00	1651,00	
302,34	4	1713,75	1713,75	
3451,1219	4		2936,00	2936,00
282,27	4			3350,00
302,35	4			3509,75
Sig,		0,05	0,14	0,94

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos,

a, Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000,

La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Tabla 22. Valor promedio de la viabilidad total inicial de *Globodera pallida*. INIA-Ayacucho, 2016.

CLONES	h y j1/Quiste	
	REPETICIONES	PROMEDIO
Se utilizó la	443,00	
misma	469,00	
viabilidad para	527,00	497,50
todos los		
clones	551,00	

Tabla 23. Valores promedio de la viabilidad total final de *Globodera pallida*. INIA-Ayacucho, 2016.

N°	CLONES		h y I/QUISTE	
	CODIGO	REPETICIONES	PROMEDIO	
1	284,14	490,00	457,75	
		385,00		
		460,00		
		496,00		
		510,00		
2	281,39	489,00	496,50	
		460,00		
		527,00		
		407,00		
3	282,32	520,00	466,00	
		485,00		
		452,00		
		510,00		
4	4	480,00	473,00	
		340,00		
		562,00		
		450,00		
5	217,18	510,00	478,50	
		433,00		
		521,00		
		387,00		
6	306,31	518,00	464,25	
		472,00		
		480,00		
		380,00		
7	302,34	543,00	450,00	
		466,00		
		411,00		
		420,00		
8	282,27	497,00	434,00	
		302,00		
		517,00		
		512,00		
9	3451,1219	410,00	446,00	
		380,00		
		482,00		
		319,00		
10	302,35	417,00	422,50	
		483,00		
		471,00		
PROMEDIO			458,85	

Tabla 24. Clasificación de tolerancia con la prueba de “t” Student al 5% para datos pareados del rendimiento (g/planta) del *Solanum tuberosum*. INIA-Ayacucho, 2016.

Clones	código	rendimiento (g/planta) n0	rendimiento (g/planta) n1	Prueba de normalidad <i>Shapiro-Wilk</i>	Prueba t I,C,=95% e=0,05	Clasificación
C1	284,14	39,25	37,25	0,39	0,82*	Tolerante
C2	281,39	17,00	16,00	0,93	0,69*	Tolerante
C3	282,32	56,5	54,75	0,08	0,89*	Tolerante
C4	4	39,5	37,5	0,56	0,65*	Tolerante
C5	217,18	34,75	36,00	0,60	0,89*	Tolerante
C6	306,31	40,75	22,5	0,37	0,02**	No tolerante
C7	302,34	43,25	37,00	0,71	0,68*	Tolerante
C8	282,27	38,00	35,75	0,89	0,85*	Tolerante
C9	3451,1219	56,25	54,25	0,73	0,92*	Tolerante
C10	302,35	51,75	49,25	0,80	0,71*	Tolerante

*>0,05 = No significativo **<0,05= Significativo n0 = sin inculo n1 = con inculo

Tabla 25. Valores de la prueba de "t" Student al 5% para datos pareados del rendimiento (N° de tubérculos/planta) de *Solanum tuberosum*. INIA- Ayacucho, 2016.

Clones	código	Rendimiento	Rendimiento	Prueba de normalidad <i>Shapiro-Wilk</i> Sig,>0,05	Prueba "t" de <i>Student</i> al 5%
		(N° tubérculos /planta) n0	(N° tubérculos //planta) n1		
C1	284,14	4,25	6,50	0,97	0,047*
C2	281,39	3,75	6,25	0,85	0,043*
C3	282,32	3,25	5,50	0,97	0,031*
C4	4	1,50	4,75	0,22	0,007*
C5	217,18	2,75	5,5	0,97	0,014*
C6	306,31	2,75	5,25	0,85	0,043*
C7	302,34	2,25	5,25	0,16	0,039*
C8	282,27	4,00	7,25	0,27	0,033*
C9	3451,1219	3,75	7,00	0,95	0,020*
C10	302,35	3,00	5,75	0,41	0,037*

*<0,05 = Significativo

n0 = sin inoculo

n1 = con inoculo

Tabla 26, Valores de la prueba de *HSD Tukey* al 5% para la población final de quistes de *Globodera pallida* en diez clones de *Solanum tuberosum*. INIA-Ayacucho, 2016.

(I) Clon	(J) Clon	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
	281,39	-299,50000	438,60482	0,999	-1795,6613	1196,6613
	282,32	-10,50000	438,60482	1,000	-1506,6613	1485,6613
	4	18,00000	438,60482	1,000	-1478,1613	1514,1613
	217,18	1088,25000	438,60482	0,318	-407,9113	2584,4113
284,14	306,31	1112,00000	438,60482	0,291	-384,1613	2608,1613
	302,34	-362,25000	438,60482	0,998	-1858,4113	1133,9113
	282,27	-1998,50000*	438,60482	0,003	-3494,6613	-502,3387
	3451,1219	-1584,50000*	438,60482	0,031	-3080,6613	-88,3387
	302,35	-2158,25000*	438,60482	0,001	-3654,4113	-662,0887
	284,14	299,50000	438,60482	0,999	-1196,6613	1795,6613
	282,32	289,00000	438,60482	1,000	-1207,1613	1785,1613
	4	317,50000	438,60482	0,999	-1178,6613	1813,6613
	217,18	1387,75000	438,60482	0,087	-108,4113	2883,9113
281,39	306,31	1411,50000	438,60482	0,077	-84,6613	2907,6613
	302,34	-62,75000	438,60482	1,000	-1558,9113	1433,4113
	282,27	-1699,00000*	438,60482	0,016	-3195,1613	-202,8387
	3451,1219	-1285,00000*	438,60482	0,141	-2781,1613	211,1613
	302,35	-1858,75000*	438,60482	0,006	-3354,9113	-362,5887
	284,14	10,50000	438,60482	1,000	-1485,6613	1506,6613
	281,39	-289,00000	438,60482	1,000	-1785,1613	1207,1613
	4	28,50000	438,60482	1,000	-1467,6613	1524,6613
	217,18	1098,75000	438,60482	0,306	-397,4113	2594,9113
282,32	306,31	1122,50000	438,60482	0,280	-373,6613	2618,6613
	302,34	-351,75000	438,60482	0,998	-1847,9113	1144,4113
	282,27	-1988,00000*	438,60482	0,003	-3484,1613	-491,8387
	3451,1219	-1574,00000*	438,60482	0,033	-3070,1613	-77,8387
	302,35	-2147,75000*	438,60482	0,001	-3643,9113	-651,5887
	284,14	-18,00000	438,60482	1,000	-1514,1613	1478,1613
	281,39	-317,50000	438,60482	0,999	-1813,6613	1178,6613
	282,32	-28,50000	438,60482	1,000	-1524,6613	1467,6613
	217,18	1070,25000	438,60482	0,339	-425,9113	2566,4113
4	306,31	1094,00000	438,60482	0,311	-402,1613	2590,1613
	302,34	-380,25000	438,60482	0,996	-1876,4113	1115,9113
	282,27	-2016,50000*	438,60482	0,003	-3512,6613	-520,3387
	3451,1219	-1602,50000*	438,60482	0,028	-3098,6613	-106,3387
	302,35	-2176,25000*	438,60482	0,001	-3672,4113	-680,0887
	284,14	-1088,25000	438,60482	0,318	-2584,4113	407,9113
	281,39	-1387,75000	438,60482	0,087	-2883,9113	108,4113
	282,32	-1098,75000	438,60482	0,306	-2594,9113	397,4113
	4	-1070,25000	438,60482	0,339	-2566,4113	425,9113
217,18	306,31	23,75000	438,60482	1,000	-1472,4113	1519,9113
	302,34	-1450,50000*	438,60482	0,063	-2946,6613	45,6613
	282,27	-3086,75000*	438,60482	0,000	-4582,9113	-1590,5887
	3451,1219	-2672,75000*	438,60482	0,000	-4168,9113	-1176,5887
	302,35	-3246,50000*	438,60482	0,000	-4742,6613	-1750,3387
	284,14	-1112,00000	438,60482	0,291	-2608,1613	384,1613
306,31	281,39	-1411,50000	438,60482	0,077	-2907,6613	84,6613
	282,32	-1122,50000	438,60482	0,280	-2618,6613	373,6613
	4	-1094,00000	438,60482	0,311	-2590,1613	402,1613

	217,18	-23,75000	438,60482	1,000	-1519,9113	1472,4113
	302,34	-1474,25000	438,60482	0,056	-2970,4113	21,9113
	282,27	-3110,50000*	438,60482	0,000	-4606,6613	-1614,3387
	3451,1219	-2696,50000*	438,60482	0,000	-4192,6613	-1200,3387
	302,35	-3270,25000*	438,60482	0,000	-4766,4113	-1774,0887
	284,14	362,25000	438,60482	0,998	-1133,9113	1858,4113
	281,39	62,75000	438,60482	1,000	-1433,4113	1558,9113
	282,32	351,75000	438,60482	0,998	-1144,4113	1847,9113
	4	380,25000	438,60482	0,996	-1115,9113	1876,4113
302,34	217,18	1450,50000	438,60482	0,063	-45,6613	2946,6613
	306,31	1474,25000	438,60482	0,056	-21,9113	2970,4113
	282,27	-1636,25000*	438,60482	0,023	-3132,4113	-140,0887
	3451,1219	-1222,25000	438,60482	0,186	-2718,4113	273,9113
	302,35	-1796,00000*	438,60482	0,009	-3292,1613	-299,8387
	284,14	1998,50000*	438,60482	0,003	502,3387	3494,6613
	281,39	1699,00000*	438,60482	0,016	202,8387	3195,1613
	282,32	1988,00000*	438,60482	0,003	491,8387	3484,1613
	4	2016,50000*	438,60482	0,003	520,3387	3512,6613
282,27	217,18	3086,75000	438,60482	0,000	1590,5887	4582,9113
	306,31	3110,50000*	438,60482	0,000	1614,3387	4606,6613
	302,34	1636,25000*	438,60482	0,023	140,0887	3132,4113
	3451,1219	414,00000	438,60482	0,993	-1082,1613	1910,1613
	302,35	-159,75000*	438,60482	1,000	-1655,9113	1336,4113
	284,14	1584,50000*	438,60482	0,031	88,3387	3080,6613
	281,39	1285,00000*	438,60482	0,141	-211,1613	2781,1613
	282,32	1574,00000*	438,60482	0,033	77,8387	3070,1613
	4	1602,50000*	438,60482	0,028	106,3387	3098,6613
3451,12 19	217,18	2672,75000*	438,60482	0,000	1176,5887	4168,9113
	306,31	2696,50000*	438,60482	0,000	1200,3387	4192,6613
	302,34	1222,25000	438,60482	0,186	-273,9113	2718,4113
	282,27	-414,00000	438,60482	0,993	-1910,1613	1082,1613
	302,35	-573,75000*	438,60482	0,944	-2069,9113	922,4113
	284,14	2158,25000*	438,60482	0,001	662,0887	3654,4113
	281,39	1858,75000*	438,60482	0,006	362,5887	3354,9113
	282,32	2147,75000*	438,60482	0,001	651,5887	3643,9113
	4	2176,25000*	438,60482	0,001	680,0887	3672,4113
302,35	217,18	3246,50000*	438,60482	0,000	1750,3387	4742,6613
	306,31	3270,25000*	438,60482	0,000	1774,0887	4766,4113
	302,34	1796,00000*	438,60482	0,009	299,8387	3292,1613
	282,27	159,75000	438,60482	1,000	-1336,4113	1655,9113
	3451,1219	573,75000	438,60482	0,944	-922,4113	2069,9113

*, La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05

Anexo 3, Fotografías

Fotografía 1. Tubérculos de 10 clones de *Solanum tuberosum* de la investigación no inoculado e inoculado con *Globodera pallida*. INIA- Ayacucho, 2016.









Fotografía 2. Pigmentación de 10 clones de *Solanum tuberosum* de la investigación inoculado y no inoculado con *G. pallida*. INIA- Ayacucho, 2016.









Fotografía 3. Crecimiento de 10 clones de *Solanum tuberosum* al *Globodera pallida* en invernadero. INIA- Ayacucho, 2016.



A



B



C



D



E

A: Crecimiento a los 37 días de siembra. B: Clon con su respectiva codificación. C: Clones de la investigación con su respectivo cartel de aviso. D y E: Distribución de tratamientos en crecimiento en el invernadero de INIA- Ayacucho, 2017.

Anexo 4. Matriz de Consistencia

TÍTULO: Respuesta nematológica y agronómica de diez clones de *Solanum tuberosum* "papa" al *Globodera pallida* Stone en invernadero. INIA - Ayacucho, 2016.
AUTOR: Allcchahaman Bedrillana, Roly **ASESOR INTERNO:** Blgo. Walter W. Ochoa Yupanqui **ASESOR EXTERNO:** Ing. Máximo Morote Quispe

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	MARCO TEÓRICO	VARIABLES A DESCRIBIR	METODOLOGÍA
<p>¿Cuál es la respuesta nematológica y agronómica de diez clones de <i>Solanum tuberosum</i> "papa" al <i>Globodera pallida</i> Stone "nematodo quiste de la papa" en invernadero?</p>	<p>Objetivo General: Evaluar la respuesta nematológica y agronómica de diez clones de <i>Solanum tuberosum</i> "papa", al <i>Globodera pallida</i> Stone en invernadero. INIA-Ayacucho, 2016.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la población final de <i>Globodera pallida</i> Stone en diez clones de <i>Solanum Tuberosum</i> "papa". INIA – Ayacucho, 2016. • Evaluar el rendimiento de diez clones de <i>Solanum Tuberosum</i> "papa" al <i>Globodera pallida</i> Stone. INIA – Ayacucho, 2016. • Evaluar la resistencia, tolerancia y susceptibilidad de diez clones de <i>Solanum tuberosum</i> "papa" al <i>Globodera pallida</i> Stone en invernadero. INIA – Ayacucho, 2016. • Seleccionar los clones de <i>Solanum tuberosum</i> "papa" en base a su respuesta nematológica y agronómica según los criterios de Cook. INIA – Ayacucho, 2016. 	<p>$H\Delta$ = Los diez clones de <i>Solanum tuberosum</i> presentan diferente respuesta nematológica y agronómica al <i>Globodera pallida</i> Stone "nematodo quiste de la papa". INIA-Ayacucho, 2016</p>	<p>Antecedentes: Pérdidas causadas por el nemátodo Quiste de la papa (<i>Globodera spp.</i>) en Bolivia y Perú Comportamiento de 24 accesiones de papa (nativas, comerciales y clones promisorios) al parasitismo del nemátodo del quiste de la papa (<i>Globodera pallida</i>) en invernadero, Cutuglagua – Pichincha. Evaluación de la resistencia, tolerancia y susceptible de 24 variedades de papa nativas al parasitismo del nematodo del quiste de la papa (<i>Globodera pallida</i>) en invernadero Cutuglagua – Pichincha.</p> <p>Marco Teórico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Globodera pallida</i> Stone • Especie • Taxonomía • Distribución geográfica • Ciclo de vida • Epidemiología • Sintomatología y daños • Factores de suelo • Rangos de hospedero • <i>Solanum Tuberosum</i> "papa" • Antecedentes • Morfología, distribución y origen de las subespecies de <i>Solanum tuberosum</i>. • Taxonomía • Reacción a factores bióticos • Reacciones a factores abióticos • Fuentes de resistencia a nemátodos • Resistencia y tolerancia • Efecto del manejo integrado 	<p>Independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de quistes iniciales de <i>Globodera pallida</i> • Clones de <i>Solanum Tuberosum</i> "papa". <p>Dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de quistes finales de <i>Globodera pallida</i> • Rendimiento de <i>Solanum tuberosum</i> "papa" <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • N° Quistes/maceta • N° tuber,/maceta • g/planta • N° tuber,/planta 	<p>Tipo de investigación: Básica - Experimental</p> <p>Diseño: Completamente Aleatorio</p> <p>Población: Clones de <i>Solanum tuberosum</i> de los diferentes proyectos de INIA – cannan, Quistes de <i>Globodera pallida</i> "NQP" proveniente de Allpachaca.</p> <p>Muestra: Diez clones de <i>Solanum tuberosum</i> "papa" Cuarenta muestras de 20 quistes cada una seleccionadas aleatoriamente.</p>