

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



Resistencia de *Solanum tuberosum* frente a *Globodera*
spp. en condiciones del invernadero
Ayacucho, 2014

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

PRESENTADO POR:
Bach. ÑAHUIS BERNEDO, Gladys

AYACUCHO – PERÚ
2017

A mis Padres que fueron importantes en mi formación como persona y profesional, a mi esposo Félix Bordaes y nuestro hijo Aarón Stefano por ser el motivo para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

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

A la Facultad de Ciencias Biológicas, en especial a la Escuela de Biología por haberme acogido en sus aulas y forjado como intelectual y persona humana.

Al Blgo. Walter Wilfredo, Ochoa Yupanqui por su asesoramiento, en la planificación, culminación y proceso de datos estadísticos del presente trabajo de investigación.

Al Blgo. Cesar Rodolfo Vargas, por su asesoramiento durante planificación y ejecución del presente trabajo de investigación

Al Ing. Máximo, Morote Quispe por su tiempo y paciencia como asesor externo de la presente investigación.

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
INDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES	3
2.2. MARCO CONCEPTUAL	5
2.2.1. Resistencia del <i>Solanum tuberosum</i> a la <i>Globodera spp.</i>	5
2.3. BASES TEÓRICAS	9
2.3.1. La papa	9
2.3.2. Banco genético	15
2.4. <i>Globodera spp.</i> “nemátodo quiste de la papa”	16
2.4.1. Especie	17
2.4.2. Huevo embrionado	17
2.4.3. Juvenil 1 (J1)	17
2.4.4. Juvenil 2 (J2)	17
2.4.5. Juvenil 3 (J3)	17
2.4.6. Juvenil 4 (J4)	17
2.4.7. <i>Globodera pallida</i>	18
2.4.8. <i>Globodera rostochensis</i>	18
2.4.9. Ubicación taxonómica	18
2.4.10. Origen y distribución	18
2.4.11. Identificación	19
2.4.12. Biología	19
2.4.13. Importancia de los nematodos	23
2.4.14. Composición de paredes y membranas	24
2.4.15. Patogenicidad y magnitud del daño	25
2.4.16. Síntomas y daño	26

2.4.17. Cómo afectan los nematodos a las plantas	26
2.4.18 Manejo	27
2.4.19 Dinámica población de los nematodos	28
2.4.20. Relación entre la planta y los nematodos	30
2.4.21. Determinación de la densidad de poblaciones	30
2.4.22. Factores del suelo	31
2.5. MARCO LEGAL	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. Ubicación de la zona de estudio	35
3.2. Localización de la fase experimental: Instituto Nacional de Investigación e Innovación Agraria (Estación experimental Canaán – Ayacucho	35
3.3 Tipo de investigación	36
3.4. Población y muestra	37
3.5. Variables e indicadores.	37
3.6 Unidad de análisis	37
3.7 Manejo específico del experimento	38
IV. RESULTADOS	43
V. DISCUSIÓN	51
VI. CONCLUSIONES	55
VII. RECOMENDACIONES	57
VIII REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	59
IX. ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Instalación en el invernadero de INIA de <i>Solanum tuberosum</i> (papa) con las cinco poblaciones de quistes Ayacucho – 2014.	38
Tabla 2. Escala de evaluación para la prueba en macetas	41
Tabla 3. Viabilidad inicial y final (en porcentajes) de quistes de <i>Globodera spp.</i> “NQP” procedentes de cinco campos de cultivo de <i>Solanum tuberosum</i> “papa” en relación al tiempo de conservación - Ayacucho 2016.	45
Tabla 4. Resistencia de <i>Solanum tuberosum</i> variedades comerciales, tasa de multiplicación del nematodo (TMN) <i>Globodera spp.</i> “nematodo quiste de la papa”. Ayacucho 2016.	47
Tabla 5. Resistencia de <i>Solanum tuberosum</i> variedades comerciales, tasa de multiplicación del nematodo (TMN) <i>Globodera spp.</i> “nematodo quiste de la papa”. Ayacucho 2016.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cortes en raíces de la papa infectadas con <i>globodera</i> . <i>rostochiensis</i> . A) Hembras; B) quistes	21
Figura 2. Ciclo biológico de la <i>globodera ssp</i> .	23
Figura 3. Mapa de ubicación del Instituto Nacional de Innovación Agraria.	36
Figura 4. Viabilidad en porcentajes de cinco poblaciones del total de quistes <i>Globodera spp</i> “NQP” procedentes de campos de cultivo de <i>Solanum tuberosum</i> ” papa” en relación al tiempo de conservación - Ayacucho 2016.	46
Figura 5. Resistencia de <i>Solanum tuberosum</i> variedades comercial, tasa de multiplicación del nematodo <i>Globodera spp</i> . “nematodo quiste de la papa”. Ayacucho 2016.	48
Figura 6. Resistencia de <i>Solanum tuberosum</i> variedad nativa como tasa de multiplicación del nematodo <i>Globorera spp</i> . Nematodo “quiste de la papa”. Ayacucho 2016.	50

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Promedio de datos obtenidos del número total de quistes de la variedad comercial de <i>solanum tuberosum</i> .	65
Anexo 2. Promedio de datos obtenidos del número total de quistes de la variedad nativa de <i>solanum tuberosum</i> .	66
Anexo 3. Quistes de nemátodos <i>Globodera ssp</i> según lugares de procedencia.	67
Anexo 4. Instalación para la siembra de los tubérculos en INIA – Ayacucho	68
Anexo 5. Evaluación de crecimiento y desarrollo de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	69
Anexo 6. Cosecha de los tubérculos (<i>Solanum tuberosum</i>) instalados en INIA Ayacucho 2014	70
Anexo 7. Lavado del suelo para la separación de los quistes después de la cosecha de los tubérculos (<i>Solanum tuberosum</i>) instalados en INIA Ayacucho 2014.	71
Anexo 8. Proceso de separación de quistes por método de rodamiento con el papel bond de 80gr.en el laboratorio de Zoología de la UNSCH – Ayacucho 2014.	72
Anexo 9. Matriz de consistencia	73

RESUMEN

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. En nuestro país, se siembra alrededor de 1'443,000 Ha de papa, de los cuales casi el 60 % de la producción es destinado 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, siendo *Globodera spp.* "nematodo quiste de la papa" (NQP) una de las plagas de mayor importancia en la región andina; por su amplia distribución y por los daños directos e indirectos que ocasiona en el cultivo de la papa.

El objetivo general fue evaluar la resistencia de *Solanum tuberosum* frente a *Globodera spp.* "nematodo quiste de la papa", para ello se desarrolló la investigación a 2750 msnm en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga ubicada en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, y en el instituto Nacional de Investigación e Innovación Agraria; estación Experimental CANAAN–Ayacucho durante los años 2015 -2016.

Los resultados muestran la viabilidad de los quistes de *Globodera spp* del año 1995 provenientes de Chiara dieron la mayor viabilidad (43.81%), en tanto que la menor viabilidad (1.79%) fue de Allpachaca. En los quistes correspondientes al año 2000, la mayor viabilidad fue de Tambo (29.12%) No se han encontrado variedades de *Solanum tuberosum* que muestren resistencia frente a la población de *Globodera pallida*, al contrario, han mostrado susceptibilidad, siendo mayor en la variedad Canchán (comercial) de la localidad de Allpachaca (TMN = 56.97) y en la variedad peruanita (nativa) procedente de la localidad de Chiara (TMN = 58.83)

Palabras clave: *Globodera*, resistencia, viabilidad, *Solanum*

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. En nuestro país, se siembra alrededor de 1, 443,000 Ha de papa, de los cuales casi el 60 % de la producción es destinado al autoconsumo dentro de un sistema de agricultura de subsistencia. Este grupo de agricultores de subsistencia están localizados mayormente en lugares alejados de la sierra del Perú, en zonas agroclimáticas adversas sujetas a problemas de erosión, riesgos de sequía, heladas, plagas y enfermedades; cuyo resultado final se manifiesta en los bajos rendimientos que obtienen por unidad de superficie. Una de las limitaciones del bajo rendimiento en la producción de papa lo constituyen las plagas y enfermedades. Dentro de estos factores limitantes, *Globodera sp.* “nematodo quiste de la papa” (NQP) es considerado plaga de importancia en la región andina; por su amplia distribución y por los daños directos e indirectos que ocasiona en el cultivo de la papa. 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. 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, de ahí que su importancia económica es cada vez mayor aunado a la dificultad que ocasiona su control. Además, por su gran capacidad de resistencia a condiciones adversas, los huevos de *Globodera sp.*, pueden permanecer viables por muchos años ya que se encuentran protegidos por una estructura endurecida llamada

quiste. Dentro de este sistema complejo, es importante conocer la distribución geográfica del nematodo quiste de la papa *Globodera sp.* Así mismo su infestación, viabilidad y resistencia dentro de los campos de producción de papa nativa y comercial. Por las consideraciones expuestas, se plantearon como objetivos:

Objetivo general

Evaluar la resistencia de *Solanum tuberosum* frente a *Globodera spp.* “nematodo quiste de la papa”.

Objetivos específicos

- Determinar la viabilidad de los quistes de *Globodera spp.* en función al tiempo de conservación.
- Evaluar la resistencia de *Solanum tuberosum* variedad comercial: yungay, canchan, roja ayacuchana y nativa: peruanita, chaulina y tumbay frente a *Globodera spp.*, procedentes de las localidades: Macachacra (Huanta), Tambo (La Mar), Chiara, Allpachaca y Chontaca

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Rueda et al (2004)¹, en la localidad San Juan Vaquería en Colombia, realizaron su trabajo empleando en dos lotes; la densidad poblacional del lote A presentó 21 quistes/kg de suelo seco y el lote B se presentó 2 quistes/kg de suelo seco; mientras que la viabilidad en el lote A fueron de 45 quistes y en el lote B se presentó 20 quistes, respectivamente. Asimismo, refiere que el nematodo dorado de la papa (NDP) *Globodera rostochiensis*, constituye a nivel mundial uno de los problemas fitosanitarios más serios en el cultivo de la papa. Su capacidad de enquistamiento lo provee con un sistema de defensa que incrementa las dificultades para su control.

Riera (2009)², reportó en la variable rendimiento (tolerancia) del nivel 0 (n0 = sin nematodos), las variedades que presentaron mejor respuesta fueron “puca huayro” con un promedio de 0.476 kg/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 (0.290 kg/planta; 0.284 kg/planta; 0.260kg/planta) respectivamente. En la variable rendimiento (tolerancia) del nivel 1 (n1 = con nematodos 20 huevos y larvas por gramo de suelo), las variedades que presentaron mejor respuesta fueron “milagrosa” con un promedio de 0.354 kg/planta, variedad “coneja negra” con 0.338 kg/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”, “jubaleña”, “leona negra del norte” con pesos (0.190 kg/planta; 0.186 kg/planta; 0.166 kg/planta) respectivamente, demostrándose que existe influencia directa de los nematodos en el rendimiento. En la variable incremento (resistencia): Al realizar el análisis nematológico se determinó los incrementos del nematodo del quiste de la papa (*Globodera*

pallida) como se muestran que las variedades de papas nativas presentan incrementos promedios, bajos en seis variedades que van desde 2.64 a 5.32, seis variedades con incrementos promedios altos con un rango de 18.07 a 37.52 y doce variedades presentaron un incremento intermedio entre 7.08 a 16.96 de quistes

Franco y González (2011)³, reportaron en los departamentos muestreados en ambos países (5 en Bolivia y 9 en Perú) mostraron la presencia del nematodo quiste de la papa, *Globodera sp.* En Perú de 3299 muestras de suelo, 64.90 % fueron positivas y el nivel de infestación alcanzó hasta 2161 huevos/gramo de suelo.

En el Perú la mayor incidencia de muestras positivas se presentó en los departamentos de Cusco, Huánuco, La Libertad y Huancavelica (90.45, 84.11, 80.06, 78.22 %, respectivamente). Por otro lado, Huancavelica y Junín (55.44 y 41.67%) mostraron los más altos niveles de severidad, con niveles de infestación alta y muy alta (15.1-35 y >35 huevos+j2 /g de suelo). Los departamentos que aun mostraron áreas libres fueron Cajamarca y Ayacucho (69.04 y 62.08 %) Los otros departamentos mostraron niveles de infestación incipiente y media (1-5 Huevos/g suelo y 5.1-15 Huevos/g suelo). Los mayores niveles de infestación se tuvieron en los departamentos de Junín, Huancavelica, Apurímac, Cusco y Puno (2161, 2130, 1329, 840 y 821 Huevos/g suelo, respectivamente). Las pérdidas en rendimiento estimadas en los departamentos andinos variaron de acuerdo a los diversos niveles de infestación establecidos para cada uno de ellos. Las menores pérdidas fueron para los departamentos de Cajamarca, Ayacucho y Arequipa, no así para los departamentos de Cusco, Junín, Huánuco y La Libertad que mostraron las mayores pérdidas³

Martínez (2011)⁴, en su investigación reportó la cantidad de quistes obtenida fue de hasta 158 quistes/100grs de suelo y 12 larvas/1gr de suelo obtenido. Esta evidencia indica la proporción de la tendencia de crecimiento poblacional que existe. Asimismo, halló, un mayor número de quistes jóvenes la etapa de siembra con proporción a la etapa de cosecha: 158 a 75, correspondiente a quistes dañados, hubo una proporción de: 86 a 74 correspondiendo el mayor número de quistes a la etapa de cosecha y con respecto a quistes viejos de la etapa de cosecha 98 y 72 en la etapa de siembra. Con respecto a las larvas (J2) se encontraron 4 larvas en la etapa de siembra y 10 larvas en la etapa cosecha.

Adonai y Alejandro (2013)⁵ reportó la presencia del nematodo en 29 fincas de las 40 visitadas, con un promedio de 160 quistes en 100 cm³ de suelo, 16058 J2 móviles en el suelo y una media de 330 J2 por quiste para el municipio de Tausa. En el caso del municipio de venta quemada, se encontraron 12 quistes en 100 cm³ de suelo, 6 J2 móviles en el suelo y una media de 436 J2 por quiste pertenecientes a la especie *Globodera pallida* Stone. Las mayores infestaciones se encontraron en altitudes por encima de los 3000 m.s.n.m., como es el caso de una población de 1945 quistes en 100 cm³ de suelo, 778 J2 móviles en el suelo y una media de 304 J2 por quiste presente en una finca del Municipio de Tausa, siendo la población más alta registrada durante toda la investigación. Se demostró que los síntomas observados en campo se distribuyen por focos, mientras que *G. pallida* está distribuido de manera irregular en el suelo. Por otra parte, se evidenció que la diseminación del nemátodo se debe a la utilización de maquinaria, herramientas de trabajo y el transporte de semilla contaminada.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Resistencia del *Solanum tuberosum* a la *Globodera* spp.

2.2.1.1. Concepto de tolerancia

Tuesta (s/f)²¹. La tolerancia es independiente de patotipo de nematodo, y se presenta con más frecuencia en las variedades indígena (*Solanum tuberosum*, ssp. indígena) que en las variedades *tuberosum* (*S. tuberosum* s.p. *tuberosum*). Ello se debe posiblemente, a que en los Andes evolucionaron paralelamente la papa indígena y los nematodos. La papa desarrolló tolerancia para sobrevivir frente al ataque de los nematodos. Las variedades *tuberosum* han sido desarrolladas en áreas donde los nematodos del quiste de la papa no existían.

Cada variedad tiene una reacción diferente a los nematodos, algunos son muy intolerantes y sus rendimientos bajan mucho y otras pueden ser atacadas por altas poblaciones y no pierden mucho. Esta característica es independiente de la resistencia, que es la característica de la planta de impedir la reproducción del nematodo. La tolerancia está ligada a características fisiológicas del cultivar, la más importante puede ser su ciclo vegetativo.

Muchas veces los tubérculos precoces como por ejemplo la variedad “revolución” son más intolerante y pierden más rendimiento con una misma infestación de nemato que las variedades tardías que tienen una capacidad de recuperar raíces y rendir mejor²¹.

Una variedad puede ser tolerante y resistente o tolerante y susceptible. Tolerante susceptible es lo que normalmente encontramos en la mayoría de nuestras variedades. Toleran hasta cierta densidad de nematodos y luego su rendimiento empieza a bajar. Esta pérdida se exagera en años secos debida a que la raíz parasitada no puede explotar bien la humedad y los nutrientes del suelo. Las variedades tolerantes y susceptibles más conocidas son: Yungay, canchán, andina, amarilis y yana shiri. Normalmente las variedades tardías muestran más tolerancia que las precoces porque la planta emite nuevas raíces después de la invasión, pero también deja el campo más infestado debido justamente a que tolera altas poblacionales de nematodos²¹

2.2.1.2. Concepto de resistencia

Tuesta (S.N)²¹ Capacidad que tiene un organismo para superar, totalmente o hasta cierto grado, el efecto de un patógeno u otro factor perjudicial.

Son variedades resistentes aquellas que no dejan que las larvas formen las células gigantes, que son cruciales para alimentar al nematodo, de esta manera los nematodos invaden las raíces, pero no logran desarrollarse ni formar hembras, las larvas mueren y se forman machos y la población de nematodos decae a pesar de que se ha sembrado papa. Por esto se dice que la variedad resistente limpia el campo. Para lograr papas resistentes a nematodos se ha incluido esta meta en programas de mejoramiento, primero buscando fuentes de resistencia en especies silvestres y cultivares nativos, luego cruzando las papas cultivadas con papas silvestres y buscando entre la progenie las mejores plantas que hayan heredado las características de no multiplicar al nematodo. Finalmente, el grupo de más cuidado es el de las variedades susceptibles e intolerantes que producen pocos y pequeños tubérculos, cuando son atacados por nematodos y además el campo queda infestado de nematodos.

En la papa se han encontrado dos tipos de resistencia genética a patógenos: la de hipersensibilidad, denominada también 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 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. A la fecha 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 familia más grande de proteínas R (NB-LRR) posee adicionalmente al LRR un sitio de unión a nucleótido (NB)²¹

La generación de genes R de resistencia cualitativa polimórfica involucra duplicación de genes, seguida de divergencia en la secuencia de ADN por mutación puntual y por delección y duplicación de repeticiones de ADN intragénico. La recombinación de estos genes asegura variación para generar diversidad en la secuencia de genes. La presión del patógeno selecciona especificidad funcional de la resistencia y da como consecuencia diversidad de genes R.

La resistencia cuantitativa, a diferencia de la cualitativa, es controlada por loci de rasgos cuantitativos (QTL) o por varios genes y comprende reacciones diferentes que incluyen: 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 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. En papa se ha encontrado que 18 QTL contribuyen a resistencia cuantitativa, aunque en cada caso sólo actúan entre uno y cuatro QTL²¹

Recientemente, se está utilizando el mapeo por asociación, para precisar la ubicación de QTL, el cual no utiliza poblaciones segregantes, sino colecciones de germoplasma, y emplea el concepto de ligamiento en desequilibrio. También los progresos técnicos en el área de la biología molecular y la genómica han hecho posible la clonación de QTL, lo que permite conocer tanto las secuencias codificantes como no codificantes de ADN de dichos QTL²¹

2.2.1.3. Genes que confieren resistencia cualitativa en papa

En papa se han mapeado 20 genes de resistencia a virus, nematodos y oomicetos, utilizando marcadores moleculares. La mayoría de estos genes R fueron introducidos de especies silvestres. De los 20 genes R mapeados, catorce se encuentran en hot spots para resistencia, observaron que muchos genes R están organizados en clusters de genes de resistencia y que confieren

resistencia a varios patógenos. A la fecha se han identificado cinco clusters de resistencia:

- Los genes H1 y GroV1 (*Globodera rostochiensis*), en el brazo largo del cromosoma V.
- Los genes Rx1 (PVX) y Gpa2 (*Globodera pallida*), en el brazo largo posición distal del cromosoma XII.

La resistencia en papa a patógenos, en cuanto a genes mapeados y clonados, y *loci* de rasgos cuantitativos (QTL) mapeados, en la que se resaltan las relaciones entre resistencia cuantitativa y cualitativa en el caso *P. infestans*. El conocimiento logrado ha permitido generar un mapa funcional sobre el cual se localizan QTL para resistencia a patógenos. Se han mapeado 20 genes *R* de resistencia a virus, hongos, nematodos y oomicetos, utilizando marcadores moleculares. La mayoría de estos genes *R* fueron introducidos de especies silvestres. Catorce de ellos se encuentran en *hot spots* para resistencia y confieren resistencia a varios patógenos. A la fecha se han identificado cinco clusters de resistencia. La resistencia monogénica envuelve dos procesos básicos: percepción del ataque del patógeno, seguida de una respuesta 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 *R*, ubicados en diferentes sitios del genoma. Estos genes expresan diferentes proteínas que pueden ser agrupadas en varias familias. La mayoría de proteínas *R* contienen repeticiones en grupos, ricas en leucina (LRR). Se plantea la colocalización de genes *R* y QTL en diferentes cromosomas. Una hipótesis señala que los QTL son variantes alélicas con efecto menos extremo que los genes *R* y una segunda hipótesis plantea que los QTL de resistencia mapean en regiones del genoma que contienen genes de función conocida involucrados en la respuesta general al ataque de patógenos.

2.2.1.4. Relaciones genéticas entre resistencia cuantitativa y cualitativa en papa.

Tuesta (s/f)²¹ La comprensión de las bases genéticas de la resistencia cuantitativa abre la posibilidad de explotar información sobre la ubicación de factores genéticos positivos y negativos que afectan la resistencia, útil para la selección asistida con marcadores moleculares. Varios QTL que determinan resistencia a diferentes patógenos han sido ubicados en regiones en donde se presentan genes *R*, genes *PR* y genes de defensa, de donde se presume que las

mismas clases de genes podrían estar involucradas en ambos tipos de resistencia, cualitativa y cuantitativa y que, posiblemente, la variación en algunos alelos cause varios grados de resistencia. Estos autores, basándose en el estudio de un cluster genético con genes R, plantearon que los QTL para resistencia tienen una base molecular similar a los genes R. El mapeo de genes de papa con secuencia similar a genes R clonados de otras plantas y otros relacionados con defensa revelan ligamiento entre genes candidatos, genes R y QTL para resistencia. Un ejemplo bien conocido de colocalización lo constituye la parte distal del cromosoma V, región de gran actividad genética que se conoce como hot spot del cromosoma V. En este hot spot se localiza un cluster de QTL para resistencia a nematodos y colocalizan genes R para resistencia a nematodos y virus.

Asimismo, para cada gen de resistencia en el hospedante había un gen de virulencia correspondiente en el patógeno (una relación gen por gen). Otros autores refieren que existen dos tipos de resistencia: una, controlada por unos cuantos genes "mayores" es fuerte, pero específica de las razas del patógeno (resistencia vertical); la otra, determinada por muchos genes "menores", es débil, pero es eficaz contra todas las razas de una misma especie de patógeno (resistencia horizontal). Se ha demostrado que varios tipos de estructuras y sustancias de las células vegetales constituyen el medio por el cual se piensa que esos genes confieren resistencia a las enfermedades en las plantas. En muchas relaciones hospedante-patógenas, las plantas mantienen su resistencia a los patógenos por medio de hipersensibilidad; es decir, las células atacadas son tan sensibles al patógeno que ellas y algunas células adyacentes mueren de inmediato, aislando así al patógeno o causando su muerte. También la resistencia a las enfermedades suele deberse a las fitoalexinas, es decir, metabolitos antimicrobianos de las plantas que faltan (o que están presentes en niveles no detectables en las plantas sanas, pero que se acumulan hasta alcanzar altas concentraciones debido a algún estímulo patológico).

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. La papa *Solanum Tuberosum*

Bollingere (1986)²³ en el mundo existen 5000 variedades, en Perú se encuentran alrededor de 3000. La papa uno de los aportes del Perú al mundo, es hoy en día un producto que por su versatilidad se encuentra en las recetas de las más variadas cocinas a nivel mundial. Es el cuarto principal producto alimenticio en el

mundo, después del trigo, el arroz y el maíz. Ha sido cultivada desde hace 8000 años en América del Sur y era alimento importante de los Incas quienes desarrollaron técnicas avanzadas para almacenarlas. Además, tiene una amplia gama de aplicaciones tanto industriales como domésticas, se guisa, se sancocha, se asa, se saltea, se fríe. Interviene en purés, en cremas, suflés, croquetas y tortillas.

2.3.1.1 Taxonomía de las especies de papa

La papa (*Solanum tuberosum*) fue descrita por Linneo en 1753, es una planta dicotiledónea herbácea anual, pertenece a la 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 reevaluada varias veces y los métodos moleculares han provisto información adicional, la clasificó en diez grupos *andigena*, *chaucha*, *phureja*, *tuberosum*, provenientes de *stenotomum*. Luego incluyendo a *curtilobum*, *juzepczuki*³⁰

En total ocho grupos, a *tuberosum* y *andigenum* les dieron la categoría de sub Especie y a las otras seis les categorizó como especie, volvió a los ochos grupos originales y finalmente propone en base a sus estudios moleculares una nueva clasificación basada en cuatro especies³⁰

- *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 *stenotomum*. 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".
- *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

Taxonomía

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Asteridae
Orden	: Solanales
Familia	: Solanáceas
Género	: <i>Solanum</i>
Especie	: <i>Tuberosum</i>

2.3.1.2. Origen

Según investigaciones, publicadas en un artículo reciente, de David M. Spooner - botánico del Servicio de Investigación Agrícola que trabaja en la Universidad de Wisconsin⁶, pidieron visualizar una respuesta a la incógnita del origen de la Papa, en su investigación utilizaron análisis genéticos de especies silvestres y variedades nativas recolectadas a lo largo y ancho de los Andes. El artículo llega a la conclusión de que hubo un punto de origen único de las papas cultivadas al norte del lago Titicaca, en el sur peruano, desafiando de esa manera teorías previas sobre orígenes múltiples⁶

Se desprende que el origen de las papas cultivadas se remonta a las variedades nativas desarrolladas por los agricultores precolombinos a partir de especies que crecían en estado silvestre. La evidencia arqueológica sitúa los primeros indicios del cultivo alrededor del lago Titicaca hace unos 7000 años, centrado en un grupo de aproximadamente 20 especies silvestres morfológicamente similares relacionadas con el complejo *Solanum brevicaulle*, que están distribuidas desde el centro del Perú hasta el norte de Argentina⁶

2.3.1.3. Historia

Cuando el Hombre dejó de ser errante y pasó a ser sedentario, tuvo que cambiar su estilo de vida y sumar a sus labores de caza y pesca, la recolección. El tiempo hizo que esa nueva costumbre derivara en la agricultura con la cual se dio inicio al proceso de domesticación de numerosas plantas, entre las que destaca, la papa⁶

Los primeros vestigios de papa poseen más de 8,000 años de antigüedad y fueron encontrados durante unas excavaciones realizadas en las cercanías del pueblo de Chilca, al sur de Lima, en el año de 1976⁶

Desde ese momento, y con el correr de los siglos, la historia de la papa ha estado relacionada con el desarrollo de variedades adaptables a diversas

condiciones ambientales y con su ingreso, en forma exitosa, en casi todos los países del planeta. Haciendo un poco de memoria recordaremos que debido a la conquista española del Imperio Incaico la papa fue introducida en la península ibérica hacia 1550 y de allí al resto de Europa, llegando a ser en 1750 un alimento de gran importancia. No obstante, hubo países como Rusia, Italia y Francia, donde la papa fue muy resistida y hasta despreciada, pues para ellos era casi "irracional" consumir un producto que crecía debajo de la tierra⁶

Sin embargo, fue el francés Antoine Parmentier, quien sobrevivió 3 años como prisionero de guerra consumiendo papa, la persona que sugirió al Rey Luis XVI estimular el cultivo de dicho tubérculo, con lo cual se amplió el cultivo de esta planta en toda Europa, así como en Asia y África⁶

Hoy en día, la papa representa una de las contribuciones más importantes de la región andina (y en especial de nuestro país) al mundo entero, por ser uno de los cultivos alimenticios más consumidos y apreciados, y porque de esa manera colaboramos con el fortalecimiento de la seguridad alimentaria de toda la humanidad⁶

2.3.1.4. Descripción

Mateu (2014)²⁰. La papa es una planta alimenticia que procede de las culturas Pre - Incas e Inca. En el territorio peruano se encuentra la mayor cantidad de especies de papa conocidas en el mundo. Actualmente en el Perú, es el principal cultivo del país en superficie sembrada y representa el 25% del PBI agropecuario. Es la base de la alimentación de la zona andina y es producido por 600 mil pequeñas unidades agrarias. La papa es un cultivo competitivo del trigo y arroz en la dieta alimentaria. es un producto que contiene en 100 gramos; 78 gr. de humedad; 18,5 gr. de almidón y es rico en Potasio (560mg) y vitamina C (20 mg), planta herbácea, tuberosa, perenne a través de sus tubérculos, caducifolia (ya que pierde sus hojas y tallos aéreos en la estación fría), de tallo erecto o semi-decumbente, que puede medir hasta 1 m de altura.

Hoja. Las hojas son compuestas, con 7 a 9 folíolos (imparipinnadas), de forma lanceolada y se disponen en forma espiralada en los tallos. Son bifaciales, ambas epidermis están compuestas por células de paredes sinuosas en vista superficial. Presentan pelos o tricomas en su superficie, en grado variable dependiendo del cultivar considerado. Los tricomas pueden ser uniseriados, glandulares y con una cabeza pluricelular más o menos esférica²⁰

Tallo. Presentan tres tipos de tallos, uno aéreo, circular o angular en sección transversal, sobre el cual se disponen las hojas compuestas y dos tipos de tallos subterráneos: los rizomas y los tubérculos.

Tallos aéreos. La planta es un conjunto de tallos aéreos y subterráneos que está constituido de la siguiente forma:

- **Tallo principal:** se origina del brote del tubérculo semilla.
- **Tallo secundario.** se origina de una yema subterránea del tallo principal.
- **Tallo estolonífero.** Se origina de un estolón que toma contacto con la raíz.
- **Rama:** se origina de una yema aérea del tallo principal.
- **Estolón:** transporta sustancia que se trasladan desde el follaje.
- **Tubérculo** es el tallo que almacena sustancias. Entonces la planta de la papa es un conjunto de tallos especializados para sostener hojas y flores (tallos aéreos) transporta azúcares (estolones) y almacena almidones (tubérculos)²⁰

Raíz. Es la estructura subterránea, responsable de la absorción de agua y es de tipo adventicio. Se origina en los nudos de los tallos subterráneos y en conjunto forma un sistema fibroso, ramificado y extendido más bien superficialmente, pudiendo penetrar hasta 0,8 m de profundidad. Las plantas originadas a partir de tubérculos, por provenir de yemas y no de semillas, carecen de radícula; sus raíces, que son de carácter adventicio, se originan a partir de yemas subterráneas. Estas raíces se ubican en la porción de los tallos comprendida entre el tubérculo semilla y la superficie del suelo; por esta razón, el tubérculo debe ser plantado a una profundidad tal que permita una adecuada formación de raíces y de rizomas. A partir de los primeros estados de desarrollo, y hasta el momento en que comienza la formación de tubérculos, las raíces presentan un rápido crecimiento²⁰

Tubérculos. El tubérculo es la porción apical del estolón cuyo crecimiento es fuertemente comprimido y orientado hacia los costados (expansión lateral). el tubérculo de la papa es el tallo subterráneo especializado para el almacenamiento de los excedentes de energía (almidón). 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.²⁰

Los tubérculos que afloran a ras del suelo adquieren un color verdoso en la parte donde reciben la luz solar por la acumulación superficial de clorofila de color verde, al igual que las hojas y tallos responsable de la fotosíntesis, maximizando así la absorción del CO₂ del aire, por asimilación de su átomo de carbono y liberación de sus dos de oxígeno hacia la atmósfera. La parte verde de la patata expuesta a los rayos solares debe eliminarse en la preparación como alimento, debido a su toxicidad.

Inflorescencia y flor. La inflorescencia nace en el extremo terminal del tallo y el número de flores en cada una puede ir desde una hasta 30, siendo lo más usual entre 7 y 15. El número de inflorescencias por planta y el número de flores por inflorescencia están altamente influenciadas por el cultivar. Aproximadamente en el momento en que la primera flor está expandida, un nuevo tallo desarrolla en la axila de la hoja proximal, el cual producirá una segunda inflorescencia. Las flores tienen de tres a cuatro cm de diámetro, con cinco pétalos unidos por sus bordes que le dan a la corola la forma de una estrella. Las cinco anteras se hallan unidas formando un tubo alrededor del pistilo y presentan una longitud de cinco a siete mm. El estigma generalmente es excerto más allá del anillo de anteras. La corola puede ser de color blanco o una mezcla más o menos compleja de azul, borraño y púrpura dependiendo del tipo y cantidad de antocianinas presentes. Las anteras son de color amarillo brillante, excepto en los clones androestériles en los cuales adoptan un color amarillo claro o amarillo verdoso. Los estigmas son usualmente de color verde, a pesar que algunos clones pueden presentar estigmas pigmentados. La protrusión de los estigmas por arriba de las anteras puede ir desde esencialmente ausente hasta el estilo tan largo como las anteras. La protrusión del estilo por fuera de la columna de anteras no ocurre hasta el día previo al de la apertura de la flor. Las flores en la ramificación más cercana a la base de la planta son las primeras en abrir y, en general, abren dos o tres por día. Las flores permanecen abiertas por dos a cuatro días lo que da como resultado que cada inflorescencia presente de cinco a diez flores abiertas al mismo tiempo durante el pico de la floración. La receptividad del estigma y la duración de la producción de polen es de aproximadamente dos días. La fertilización ocurre aproximadamente 36 horas después de la polinización. Es complicado clasificar a esta especie por su modo

de reproducción ya que, si bien produce semillas por autofecundación (comportamiento propio de las especies autógamas), exhibe depresión endogámica (característica propia de las especies alógamas)²⁰

Independientemente de lo anterior, las semillas que se producen en los frutos obtenidos por polinización libre son una mezcla de auto-polinizaciones con polinizaciones cruzadas, siendo las primeras las más numerosas.²⁰

Fruto y semillas

El fruto de la planta de papa es una baya, de forma semejante a un tomate pero mucho más pequeña, la cual puede presentar una forma redonda, alargada, ovalada o cónica. Su diámetro generalmente fluctúa entre 1 y 3 cm, y su color puede variar de verde a amarillento, o de castaño rojizo a violeta. Las bayas presentan dos lóculos y pueden contener aproximadamente entre 200 y 400 semillas. Las bayas se presentan agrupadas en racimos terminales, los cuales se van inclinando progresivamente en la medida que avanza el desarrollo de los frutos²⁰

Las semillas son muy pequeñas, aplanadas, de forma arriñonada, y pueden ser blancas, amarillas o castaño amarillentas²⁰

2.3.1.5. Condiciones del cultivo

Las condiciones de cultivo varían de una variedad a otra, pero por lo general prefiere suelos ricos en humus, sueltos y arenosos. La temperatura adecuada oscila entre los 10°C y 25°C. No soporta temperaturas inferiores a los 0°C, el daño es extremo a -5°C. En cuanto a la altura, en el Perú se cultiva este tubérculo hasta altitudes de 4.200 metros. Perú es el país que más variedades ofrece, con más de cuatro mil, seguido de Bolivia que tiene aproximadamente el mismo número. La producción mundial anual se estimó en 300 millones de toneladas (para el año 2000), siendo China el mayor productor tras desaparecer la Unión Soviética²⁰.

2.3.1.6. Centro internacional de la papa (CIP)

Cuenta con un equipo de científicos internacionales proveniente de 25 países, que es apoyado por personal nacional. En su primer año de operación, el CIP fue sostenido por 5 donantes. En la actualidad, el presupuesto está asegurado por la participación de 40 donantes⁷.

2.3.2. Banco genético

El CIP, cuenta con unos 5000 tipos diferentes de papa silvestre y cultivada, 6500 variedades de camote y más de 1300 tipos de otras raíces y tubérculos andinos provenientes de Bolivia, Ecuador y Perú. Igualmente produce semillas de papa

mejoradas genéticamente para resistir a enfermedades, heladas y sequías. Asimismo, conserva una provisión de semilla sexual de cada papa, libre de contaminaciones y de fácil transporte, para ser usada en ocasión de catástrofes naturales y otras emergencias que se presenten en los países del mundo⁷.

2.3.2.1. Usos

Alimenticio: El tubérculo cocido o frito preparado de múltiples formas. Con el tubérculo se prepara chuño, carapulcra y tocosh.

Medicinal: Es un efectivo antiespasmódico, antiflojístico, hemostático, y actúa contra las úlceras gástricas, reumatismo, picadura de insectos, forúnculos, quemaduras y cálculos renales.

Valor nutritivo: La papa contiene 20% de parte seca y 80% de agua. Cien gramos de la parte seca contienen 84 gr de carbohidratos, 14.5 gr de proteínas y 0.1 gr de grasa. Un kilo de papa aporta 800 calorías y 20 gr de proteínas. Un kilo de papa cocinada con su cáscara contiene 0.9 mg de vitamina B1, 15 mg de vitamina B2, 120 mg de vitamina C, 8 mg de fierro, 5,600 mg de potasio y 77 mg de sodio.

2.4. *Globodera spp.* “nematodo quiste de la papa”

Stone (1973)⁶A nivel mundial los nematodos quiste de la papa son considerados como la plaga más importante del cultivo, debido a su patogenicidad, que se manifiesta en la reducción de rendimientos en este cultivo. Se han identificado dos especies de nematodo quiste que afectan el cultivo, *Globodera pallida* Behrens y *Globodera rostochiensis* (Wollenwebwer) Behrens. Se considera que estos nematodos son originarios de los países andinos, especialmente Perú y Bolivia.

Incidencia: en Fitonematología, es la presencia de una determinada especie de nematodo en diferentes cultivos o campos de cultivo de una localidad, distrito, provincia, región o país por ciclo de cultivo o campaña de siembra⁶.

Infestación: es el número de huevos de una especie de nematodo contenidos en un gramo de suelo y que afecta el rendimiento de un cultivo por campaña de siembra⁶.

Identificación de especies: proceso técnico, físico, químico, bioquímico, que describe caracteres morfológicos, anatómicos, fisiológicos, genéticos, etc. que diferencia de un individuo con otro, que tiene la capacidad de reproducirse entre sí y generar descendencia fértil. Hembra inmadura del nematodo quiste de la

papa: hembra con gónadas que aún no ha alcanzado su desarrollo para producir óvulo vía meiosis y llevar a cabo su reproducción para tener descendencia.

Hembra madura del nematodo quiste de la papa: hembra con gónadas desarrolladas y con capacidad de producir óvulo⁶.

2.4.1. Especie

Globodera spp: género de nematodo parásito de *Solanum tuberosum* “papa” que, en estadio juvenil el macho y la hembra presentan forma vermiforme, cuando adulto las hembras modifican su forma a globosas formando quistes; en el proceso de desarrollo de la hembra hacia la formación de quistes pasan por fases de coloración⁶.

2.4.2. Huevo embrionado

Es el ovulo fertilizado que ha seguido sucesivas divisiones mitóticas formando blastómeros, mórula, blástula, gástrula, ectodermo, endodermo, mesodermo; es decir corresponde al desarrollo embrionario de un futuro individuo desde el huevo o cigoto fecundado hasta la formación de las capas embrionarias⁶.

2.4.3. Juvenil 1 (J1): es el estadio formado por morfogénesis a partir del óvulo fecundado (cigoto) dentro del proceso de desarrollo del Ciclo Biológico del fitonematodo, presenta morfología vermiforme enrollado aun estando dentro del cigoto y desarrolla la primera muda, A este estadio se denomina etapa pasiva, por la capacidad de sobrevivir mucho tiempo en el suelo, mientras se encuentra dentro del huevo.

2.4.4. Juvenil 2 (J2): es el segundo estadio o estado juvenil del fitonematodo que emerge del huevo por estímulo del exudado radicular de su hospedero (papa), es la fase activa e infectiva del nematodo dentro del desarrollo de su ciclo Biológico. Al contacto con el suelo, por las condiciones ambientales y ausencia del hospedero presentan una mortalidad del 50% en tanto no se produzca su penetración en la raíz e inicie su alimentación.

2.4.5. Juvenil 3 (J3): es el tercer estado juvenil del fitonematodo que, precede de la segunda muda estando dentro del tejido radicular del hospedero, durante este periodo su primordio genital, y aún los sexos no se diferencian.

2.4.6. Juvenil 4 (J4): es el cuarto estado juvenil del fitonematodo que, precede de la tercera muda estando dentro del tejido radicular del hospedero, durante este periodo se diferencian los sexos. Las hembras y machos diferenciados permanecen enrollados dentro de la cutícula del estadio juvenil 3 (J3).

2.4.7. *Globodera pallida*: es la especie de nematodo parásito de la papa, adaptada a mayor variación de condiciones ambientales y que es probable sea favorecido por factores intrínsecos de reproducción, lo que explica su predominancia y distribución en los Andes. Se diferencia por la fase de coloración blanca o crema que desarrollan las hembras en el proceso de formación de los quistes.

2.4.8. *Globodera rostochensis*: es la especie de nematodo parásito de la papa, adaptada a condiciones ambientales mayormente europeas, y se diferencia por la secuencia de coloración durante el desarrollo de la hembra en la formación del quiste, presentado las hembras fase de color amarilla o dorada.

2.4.9. Ubicación taxonómica

El nematodo quiste de la papa, está comprendido dentro de las siguientes categorías taxonómicas:

Reino	: Animal
Sub-Reino	: Metazoos
Sección	: Pseudocelomados
Phylum	: Nematoda
Clase	: Phasmidea
Orden	: Tylenchida
Sub orden	: Tylenchina Super
Orden	: Tylenchoidea
Familia	: Heteroderidae
Género	: Globodera
Especie	: <i>Globodera rostochiensis</i> (Wollenweber, 1923)
Nombre común	: “Nematodo dorado de la papa”
Especie	: <i>Globodera pallida</i> (Stone, 1972)
Nombre común	: “Nematodo quiste blanco de la papa”

2.4.10. Origen y distribución

Gonzales y Franco (2011)³, mencionan que las dos especies del Nematodo Quiste de la Papa son originarias de los países andinos, especialmente Perú y Bolivia. 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. En 1973, Stone⁶, observó la existencia de poblaciones del nematodo cuyas hembras no presentaban la coloración amarilla y, basándose en características

morfométricas de los estados juveniles y la cromogénesis de las hembras, describió a estas poblaciones como *Globodera pallida*, nueva especie de nematodo quiste de la papa. Posteriormente, los nematodos 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.

En el Perú se han identificado seis razas de *Globodera pallida* (P₁A a P₆A) y tres razas de *Globodera rostochiensis* (R₁A a R₃A).

2.4.11. Identificación

Stone (1973)⁶ menciona que aun cuando la coloración amarilla de las hembras indica claramente la presencia de *Globodera rostochiensis*, la ausencia de hembras con esta coloración en las raíces no garantiza que se trate de *Globodera pallida*, a menos que se observe el desarrollo del nematodo a lo largo de su ciclo biológico. La preparación de los cortes perineales de los quistes, colectados en las raíces de la planta de papa, y el conteo de las estrías cuticulares presentes entre el ano y la vulva, constituyen una manera simple de diferenciar las dos especies. *Globodera rostochiensis* posee un promedio de 21.6 estrías y *Globodera pallida* 12 estrías. A veces, el número promedio puede ser de 15, lo cual causa confusión; en este caso, si es necesario identificar la especie, se deben medir otros parámetros, especialmente de hembras, quistes y segundos estados juveniles y hacer comparaciones con los valores reportados en la literatura. La identificación con técnicas modernas y sofisticadas como son las basadas en reacciones serológicas, punto isoeléctrico, separación de proteínas, enzimas y pruebas de ADN, también es posible.

2.4.12. Biología

Greco (1992)⁸ menciona que *Globodera rostochiensis* y *Globodera pallida* son nematodos endoparasíticos sedentarios, que permanecen normalmente en el suelo por 5-6 años y a veces hasta por 20 años. Cada quiste joven contiene 200-600 huevos.

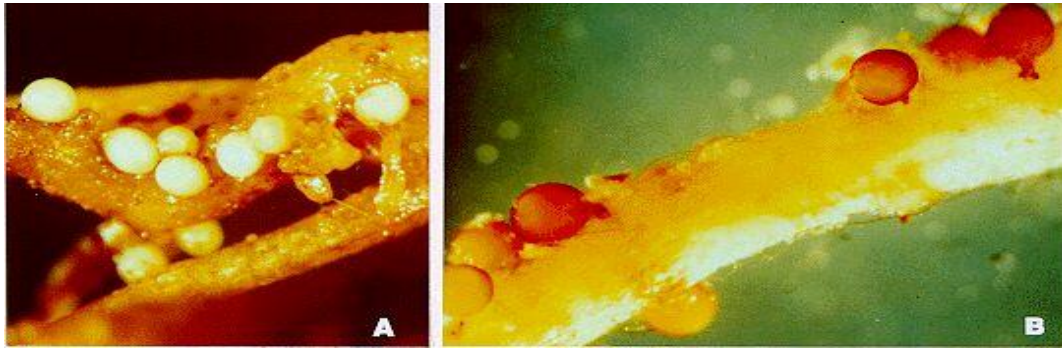
Después de la siembra, las raíces de la planta huésped, papa en este caso, producen exudados radicales que estimulan la eclosión de los huevos, de los cuales emergen los juveniles de segundo estado. Estos miden entre 470 y 500 µm de largo y entre 18 y 19 µm de ancho. Al salir del huevo, siendo el único

estado infectivo, migra hacia el ápice radical por donde penetra. Después de recorrer algunos milímetros de la raíz, el juvenil se detiene y continúa su desarrollo como sedentario, pasando por tres estados juveniles (segundo, tercero y cuarto) antes de lograr el estado adulto.

En la familia Heteroderidae, a la cual pertenece el género *Globodera*, existe un dimorfismo sexual muy marcado. Mientras el segundo estado juvenil es móvil y vermiforme, el tercero y cuarto estado juvenil, así como las hembras adultas, son inmóviles y abultados. Las hembras son esféricas y miden 500-600 μm diámetro. El tamaño es afectado por el huésped y por el nivel poblacional del nematodo, siendo más pequeñas cuando la población es elevada o el huésped se encuentra fuertemente dañado. El macho adulto es móvil y vermiforme y mide aproximadamente 1200 μm de largo y 28 μm de ancho; sin embargo, a veces se encuentran ejemplares que miden un poco más de la mitad del largo normal. Su capacidad patogénica no ha sido demostrada. La hembra posee un aparato reproductivo muy desarrollado y después de ser fecundada produce gran cantidad de huevos (hasta 500) que retiene en el interior del cuerpo. Cada huevo mide aproximadamente 40x80 μm . En *Globodera rostochiensis* la hembra adulta adquiere una coloración amarillenta, luego se transforma en quiste.

Christie (1970)⁹, señala que el ciclo biológico del nematodo quiste de la papa puede ser influenciado por factores de su hospedante y del medio ambiente, determinando diferencias entre las dos especies. Los cultivares resistentes pueden alterar el ciclo biológico.

En comparación con la hembra madura, el quiste tiene una cutícula más gruesa y de color castaño oscuro para proteger los huevos contenidos. Los quistes no se alimentan y se desprenden fácilmente de las raíces o de los tubérculos. Los huevos, al final del desarrollo embrionario, aproximadamente después de 2-3 semanas, contienen juveniles de segundo estado. En países de clima templado, al final del ciclo de la papa (otoño) la mayoría de los huevos permanecen en estado de latencia y eclosionan en la primavera siguiente, estos aspectos pueden observarse en las imágenes reportadas de cortes en raíces de papa infectadas con *G. rostochiensis*. A) Hembras; B) quistes.



Fuente: <http://www.iicasaninet.net/pub/sanveg/html/globodera.html>

Figura 1. Cortes en raíces de la papa infectadas con *globodera. rostochiensis*.

A) Hembras; B) quistes

El periodo de tiempo que el nematodo necesita para cumplir una generación, desde la penetración del juvenil de segundo estado hasta la formación de quistes con huevos, es de 45-60 días, según las condiciones ambientales. Las condiciones más favorables para el desarrollo del nematodo son una temperatura de 20 a 25°C. Cuando las condiciones ambientales son desfavorables, como en casos de alta temperatura (28°C) y sequías, cuando la planta se aproxima al final del ciclo o bien las raíces están muy dañadas, las hembras se transforman temprano en quiste y el ciclo se acorta, mientras que, cuando la temperatura del suelo es menor de 20°C, se alarga. Estudios comparativos han demostrado que *Globodera pallida* se desarrolla mejor que *Globodera rostochiensis* a bajas temperaturas. Generalmente ocurre una sola generación por cada ciclo de cultivo de la papa. Una segunda generación puede empezar, pero difícilmente es completada; sin embargo, existen datos de que sí es posible.

Algunas poblaciones de estos nematodos no atacan mucho a los tubérculos, mientras que otras infectan y se desarrollan muy bien sobre ellos convirtiéndose, este medio de propagación, en un vehículo efectivo de diseminación del patógeno.

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

Franco González, (1993)⁷. Los huevos del NQP no emergen libremente in vitro, de no ser estimulados por el exudado radicular de su hospedante el cultivo de la papa o alguna otra solanácea. En este sentido *Globodera rostochiensis*, es completamente dependiente de los mecanismos de emergencia ha sido, más

que otras especies, intensamente estudiada. El ciclo de vida empieza cuando los nematodos están en su segundo estado juvenil y emergen de los quistes, dentro de los quistes bajo el estímulo de una sustancia que exudan las raíces en crecimiento. Algunos huevos permanecen en el quiste y de ellos emergen estados juveniles en las temporadas siguientes. Atraídos por exudados radiculares, los nematodos en el segundo estado juvenil (J2) punzan las raíces, penetran en ellas, y algunos viven y se alimentan durante dos mudas o cambios adicionales. En el tercer estado juvenil de desarrollo de los nematodos del quiste se define el sexo, en función de la cantidad de alimento que haya disponible. Si hay pocos nematodos y abundante alimento la población está predominantemente constituida por hembras. Si la población es abundante y hay poco alimento disponible, predominan los machos. Las hembras se vuelven sedentarias y se adhieren a la raíz dentro del tejido de la corteza. Su cuerpo se ensancha, rompe las células de la raíz, llega a ser visible fuera de esta, aunque la cabeza y el cuello permanecen dentro del tejido. Los machos conservan su forma elongada como de gusano, abandonan la raíz, localizan hembras que están rompiendo la superficie radicular y se aparean en ellas. Después de que la hembra muere, la cutícula de su cuerpo esférico cambia químicamente y el color que era blanco a amarillo se torna marrón, o bronceo. La hembra muerta se convierte en un quiste marrón y duro, resistente a las condiciones ambientales desfavorables. Los quistes se desprenden fácilmente de las raíces. Cada uno contiene y protege desde unos pocos hasta 600 huevos. Los huevos se pueden activar cuando quiera que se siembre papa. Todavía bajo la doble protección de la pared del quiste y la cáscara del huevo, se desarrolla dentro de este el primer estado juvenil. El segundo estado juvenil emerge cuando se presente como estímulo el exudado de las raíces. En una temporada ocurre una generación, esto es un ciclo de vida, lo cual toma de 6 a 10 semanas. En ese tiempo, y si no hay competencia por alimento, la población de nematodos se puede multiplicar en proporciones hasta de 1 a 50.

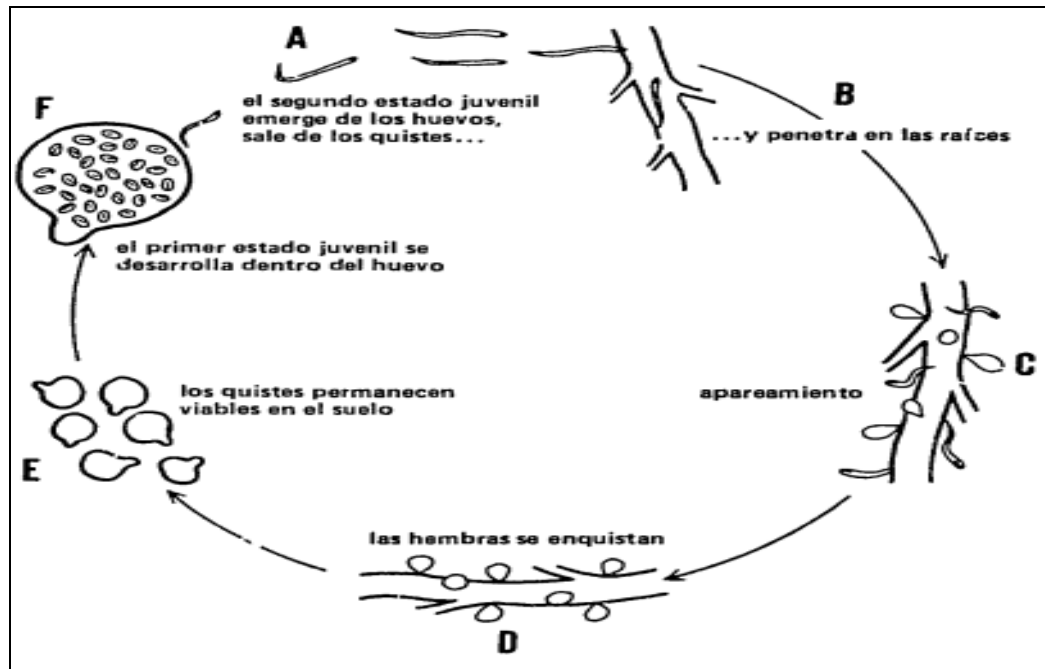


Figura 2. Ciclo biológico de la *globodera ssp.*

En la figura precedente se describe las etapas del ciclo de vida de un nematodo, que es una generación, ocurre en una temporada y dura de 6 a 10 semanas. Bajo el estímulo de exudados de la raíz, el segundo estado juvenil emerge de los huevos dentro de los quistes (A). Penetra en las raíces (B). Cuerpos de hembras que sobresalen en la superficie de las raíces. Los machos abandonan las raíces y se aparean con las hembras (C). Cuerpos de hembras muertas que se convierten en quistes (D). Los quistes se pueden despegar con facilidad de las raíces y permanecer viables en el suelo por más de 20 años (E). El primer estado juvenil se desarrolla dentro del huevo, protegido por la cascara del huevo y la pared del quiste (F).

2.4.13. Importancia de los nematodos

La papa, el tomate y la berenjena son los principales cultivos comerciales afectados por los nematodos del quiste de la papa. Como hospedantes sirven otras pocas solanáceas y algunas familias que incluyen varias malezas. En consecuencia, la gama de hospedantes es relativamente reducida. Los nematodos del quiste probablemente se originaron en tierras elevadas de los Andes, donde evolucionaron paralelamente con la papa, su hospedante principal. A Europa Llegaron entre 1850 y 1900, y de allí se distribuyeron a los países septentrionales y a regiones elevadas en el país de la zona tórrida. Los nematodos del quiste causan daños que a menudo pasan inadvertidos. En muchas ocasiones sus niveles de población estén enmascarados.

Hay dos tipos de pérdidas relacionadas con infestaciones de nematodos: directas, debidas a pérdidas de rendimiento:

- **Pérdidas indirectas**, debidas a gastos de control y cuarentena.
- **Pérdidas directas**, pueden ser grandes aun sin que se vean signos de infestación con nematodos del quiste. Pueden ocurrir pérdidas de hasta 15% en cultivos que no muestran síntomas aéreos. El rendimiento puede reducirse en dos toneladas por hectárea cuando la infestación se aumenta en 20 huevos por gramo de suelo. Podría Llegarse al caso de cosechar menos tubérculos que los sembrados. Es muy difícil erradicar el nematodo del quiste que se establezcan en un área. La rotación de cultivos para reducir las poblaciones de nematodos es prolongada y equivalen a no cultivar papa durante varios años. El control químico es costoso, peligroso y no es completamente efectivo.

2.4.14. Composición de paredes y membranas

Las paredes del quiste contienen principalmente proteínas (72 %, N x 6.25) muy sensibles a tratamientos enzimáticos con proteasas. En la hidrólisis ácida alrededor del 77% de la pared del quiste entra en solución. Entre los 19 aminoácidos detectados glicina, prolina, alanina y ácido glutámico, conformaban el 58% en peso de los aminoácidos totales siendo también abundante la hidroxiprolina. La cutícula es un segregado de colágeno asociado a ácido hialurónico, y condroitina-sulfato, integrado en muco-polisacáridos y pequeñas cantidades de lípidos. Todo ello es exponente de un intenso metabolismo nitrogenado⁷.

Además, tiene una pequeña cantidad de glucosamina (1-5%), otros conjuntos moleculares de estas paredes son el lípido (2%), los carbohidratos (0-5%) y una pequeña cantidad de materia inorgánica (cenizas, 5%); polifenoles (2% en peso de las paredes quísticas) aparecen en los hidrolizados ácidos⁷.

Respecto a la edad de los quistes de *G. rostochiensis*, no es posible determinarla por su perfil de ácidos grasos, pero es posible utilizar los valores relativos de las principales clases de lípidos como un indicador de la misma. Además, los lípidos neutros y libres de fracciones de ácidos grasos presentaban cambios en sus perfiles después de la eclosión tras un largo retraso por su almacenamiento en seco a 4 ° C durante 1, 7 y 13 años⁷.

Después de la eclosión, los lípidos de reserva son importantes para la supervivencia en etapas “sin alimentación externa” de los diversos nematodos

parásito de plantas, y el agotamiento de reservas de lípidos se correlaciona con la reducción de la infectividad, la motilidad y el retraso en el desarrollo en juveniles. Es evidente que las esterasas que participan en este reciclado tienen que desinhibirse cuando el quiste alcanza la fase marrón.

2.4.15. Patogenecidad y magnitud del daño

Greco (1993)⁸. A nivel histológico el daño es representado por necrosis de las células de las raíces atravesadas por los juveniles de segundo estado. Cuando éstos se detienen en el lugar definitivo de alimentación, las células alrededor de la cabeza del nematodo sufren una profunda transformación. De 3 a 10 células alrededor de la cabeza de cada nematodo se funden, la pared celular engrosa, el citoplasma se torna denso y se origina el sincitio multinucleado de alta actividad metabólica, el cual es indispensable para la alimentación del nematodo. La formación del sincitio ocasiona una interrupción de los vasos cribosos y leñosos limitando notablemente la funcionalidad de las raíces. Debido a esto, las plantas de papa atacadas por el nematodo presentan crecimiento y rendimiento reducidos, la senectud se anticipa y, a veces, en suelos muy infestados, el follaje presenta un ligero amarillamiento. Las reducciones de rendimiento dependen del nivel poblacional del nematodo al momento de la siembra.

El mismo autor menciona que ensayos realizados en Europa y Chile han determinado que el límite de tolerancia de la papa a los nematodos formadores de quistes es de aproximadamente 1.9 huevos/g de suelo, el rendimiento de la papa puede ser reducido entre 20 y 50% cuando el nivel poblacional del nematodo en el suelo alcanza 16 y 32 huevos/g de suelo, respectivamente. El cultivo puede ser destruido completamente cuando la población inicial del nematodo es de 64 huevos/g de suelo. Con la excepción de un ensayo realizado en Italia a 650 msnm, estos datos se refieren a ensayos realizados cerca del nivel del mar. En muchos países andinos, incluyendo a Venezuela, la papa se cultiva hasta más de 3000 msnm y en suelos con altos contenidos de materia orgánica, factores que pueden afectar la relación entre el nivel poblacional de nematodo en el suelo y el rendimiento de la papa⁸.

Kort (1977)¹¹. La magnitud del daño ocasionado por estos patógenos también depende del patotipo. A nivel mundial han sido identificados cinco patotipos de *Globodera rostochiensis* (Ro1, Ro2, Ro3, Ro4, Ro5) y seis de *Globodera pallida*: tres en Europa (Pa1, Pa2, Pa3) y tres en la zona andina (P4A, P5A, P6A). La identificación de los patotipos se hace basándose en la tasa de reproducción de

las distintas poblaciones en una serie Standard de clones de *Solanum spp.* Métodos basados en separación de proteínas, enzimas y pruebas de ADN, hasta ahora, no han dado resultados satisfactorios. De todas formas, mientras la mayoría de los investigadores coinciden en señalar como patotipos a Ro1 y Pa1, existen fuertes dudas en relación a considerar el resto como tales.

2.4.16. Síntomas y daños

El nematodo quiste de la papa no causa inmediatamente síntomas aéreos y puede permanecer por años en el suelo sin ser detectada su presencia. En suelos presencia de *Globodera spp.* Se observa en el cultivo unos síntomas que se agudizan durante la etapa de floración, los cuales comprenden:

- Marchitez.
- Amarillamiento de hojas.
- Foliolos retardados y pequeños
- Enanismo.
- Tallos delgados.
- Desarrollo retardado de la planta.
- Escaso número de botones florales.
- Disminución considerable en tamaño y producción de tubérculos.
- Escaso desarrollo de raíces.

Los nematodos afectan principalmente la actividad de las raíces, disminuyendo el área de contacto entre la planta y el suelo, restringiendo la capacidad de adsorción de elementos como el nitrógeno, potasio y fósforo, esto da lugar a un menor número de tubérculos, que son a su vez más pequeños.

El rendimiento de la papa es reducido entre 20 y 50% cuando el nivel poblacional del nematodo en el suelo alcanza entre 16 y 32 huevos/g de suelo. También pueden ocurrir pérdidas de hasta el 15% en cultivos que no muestran síntomas aéreos. El cultivo inclusive puede ser destruido completamente cuando la población del nematodo al momento de la siembra es de 64 huevos/g de suelo.

Una alta población de nematodos detiene el desarrollo de la planta y causa su muerte prematura, presentándose además una proliferación de raíces laterales. Durante la floración, las hembras del nematodo, en su estado blanco o amarillo irrumpen a través de la epidermis de la raíz¹¹.

2.4.17. Cómo afectan los nematodos a las plantas – raíz

Kort (1977)¹¹ Los nematodos dañan a las plantas sólo ligeramente mediante los daños mecánicos directos que producen en ellas en el momento de alimentarse.

Parece ser que la mayoría de los daños son ocasionados por una secreción de saliva que el nematodo inyecta en la planta mientras se alimenta de ella. Algunas especies de nematodos se alimentan con gran rapidez; perforan la pared celular, inyectan saliva en la célula, succionan parte de los contenidos de esta última y se mueven en el interior de ella al cabo de unos cuantos segundos: Sin embargo, otras especies se alimentan con menos rapidez y pueden permanecer en el mismo punto de entrada a la célula durante varias horas o días. Estos nematodos, así como las hembras de las especies que se establecen permanentemente en o sobre las raíces, inyectan saliva en forma intermitente mientras se están alimentando.

El proceso de alimentación hace que las células vegetales afectadas reaccionen causando la muerte o el debilitamiento de las yemas y puntas de la raíz, la formación de lesiones y degradación de los tejidos, hinchamientos y agallas de varias clases y tallos y follaje retorcidos y deformados. Algunos de estos síntomas se deben a la disolución de los tejidos infectados por las enzimas del nematodo, las cuales con o sin la ayuda de metabolitos tóxicos producen la muerte de las células y la desintegración de los tejidos. Otros se deben al alargamiento anormal de las células (hipertrofia), al cese de la división celular o a la estimulación de ella que se efectúa en una forma controlada, dando como resultado la formación de agallas o de una gran cantidad de raíces laterales cerca de los puntos de infección¹¹.

Los síndromes de las enfermedades de las plantas producidas por los nematodos son complejos. Las especies que se alimentan de la raíz posiblemente disminuyen la capacidad de las plantas de absorber agua y nutrientes del suelo y de esta manera producen síntomas de deficiencia de agua y nutrientes en los órganos aéreos de ellas. En algunos casos, sin embargo, son las interacciones bioquímicas entre la planta y el nematodo las que afectan negativamente la fisiología total de las plantas y la función de los nematodos de proporcionar los puntos de entrada para otros patógenos, a lo que se deben principalmente los daños que sufren las plantas; los daños mecánicos o la obtención del alimento de las plantas por los nematodos es, en general, menos importante, pero puede adquirir importancia cuando las poblaciones de estos fitopatógenos son muy grandes¹¹.

2.4.18. Manejo

El manejo del nematodo quiste de la papa comprende varias técnicas y su utilización depende del acceso a la tecnología necesaria y las posibilidades de su

implementación en las zonas productoras de papa. Un manejo integrado usualmente no elimina los nematodos, pero pueden mantener el nivel de población a un nivel bajo umbrales económicos¹¹.

a. Manejo Químico: es ampliamente conocido y consiste en la utilización de dos tipos de nematicidas, los fumigantes del suelo y los no fumigantes. Los primeros son productos de amplio espectro biosida que penetran en el espacio aéreo del suelo y matan a los nematodos pues actúan contra los juveniles en el interior de los quistes. El fumigante que controla de manera más eficiente a *Globodera spp.* Y que consigue mantener las densidades poblacionales bajas es el 1.3-dicloropropeno¹¹.

b. Manejo Biológico: aún se encuentra en investigaciones preliminares, sigue siendo una alternativa para el control de *Globodera spp.* El control de quistes por *Acremonium incrustatum* y *Paecilomyces carneus* que penetran y desarrollan su micelio sobre el corion y en los huevos dentro del quiste. En pruebas de laboratorio se demostró que su crecimiento es tan rápido que los conidióforos de los hongos emergen del quiste y se observa la formación de esporas a las 72 horas después de inoculados¹¹.

c. Manejo cultural: se habla específicamente de la rotación de cultivos, que se emplea cuando la población de nematodos es suficientemente alta y potencialmente perjudicial. La rotación con el cultivo de haba, disminuye la población de *Globodera spp.*, por ser éste un cultivo no hospedante de este nematodo. Otras prácticas comprenden la limpieza de maquinaria y herramienta al momento de trabajar en diferentes parcelas, esto con el objetivo de evitar la proliferación del nematodo a través de suelo contaminado adherido a las herramientas de trabajo¹¹.

d. Manejo físico: su uso aún está en etapa de desarrollo y está restringido a producciones de pequeña escala, las practicas evaluadas en este método son: el tratamiento de suelo con calor, la inmersión de plantas en agua caliente, electricidad, radiación y ondas ultrasónicas¹¹.

2.4.19. Dinámica poblacional y difusión de los nematodos

Schluter (1976)¹² En ausencia del cultivo de la papa, en zonas de clima templado, el nivel poblacional disminuye en un 50% cada año, mientras que en países con clima cálido, como Marruecos, puede ocurrir una reducción de casi 100%. En países con clima cálido, la superficie del suelo, en el verano, se calienta mucho y los nematodos que se encuentran en los primeros 5-10 cm

mueren naturalmente. Por lo tanto, araduras en esta época del año, reducen sensiblemente el nivel poblacional del parásito. Cuando la cosecha se realiza al final del ciclo biológico de la papa, todos los nematodos que han penetrado en las raíces alcanzan el estado de quiste, logrando un nivel poblacional muy alto. No ocurre así cuando se cosecha temprano la papa, de esta forma muchos nematodos se encuentran todavía en los estados juveniles y el nivel poblacional en el suelo permanece bajo.¹²

El cultivar de papa juega un papel importante sobre la dinámica de *Globodera spp.* Se conocen cultivares susceptibles a ambas especies y cultivares resistentes o parcialmente resistentes a una sola de ellas, que afectan la tasa de reproducción de los nematodos. En presencia de cultivares resistentes los juveniles de segundo estado salen del quiste, penetran en las raíces, pero no se desarrollan. A veces, la reducción poblacional, utilizando un cultivar resistente, puede ser mayor que utilizando un cultivo no huésped o dejando el suelo en barbecho. El uso de cultivares resistentes ejerce una presión selectiva sobre el nematodo, debido al hecho que no existen cultivares resistentes a ambas especies o a todos los patotipos de la misma especie. Por otro lado, ambas especies o diferentes patotipos de ellas, pueden encontrarse en el mismo campo, de manera que el uso de un cultivar resistente puede reducir la incidencia de una especie o patotipo, pero favorece el desarrollo de la otra especie o de otro patotipo. Se ha determinado que el uso continuo de un mismo cultivar resistente ocasiona la selección de patotipos que antes no eran importantes¹².

En un campo, el primer foco de infección se manifiesta en una pequeña área circular que luego se agranda hasta afectar toda la superficie. El nematodo, por acción propia, puede moverse 1-2 m/año; sin embargo, el movimiento pasivo es más rápido. El suelo adherido a los implementos agrícolas, zapatos y patas de los animales, puede contener quistes, favoreciendo la diseminación de los nematodos dentro de la misma unidad de producción o a otras unidades. Todo sistema de riego que favorezca la escorrentía del agua, así como las inundaciones pueden ser importantes. Sin embargo, el comercio de la papa, y especialmente los tubérculos utilizados como semilla, son la forma más eficaz de diseminar los quistes entre estados, países y continentes. La limpieza de la maquinaria agrícola, zapatos, uso de tubérculos-semilla sanos y medidas cuarentenarias son muy eficaces para evitar la diseminación de los nematodos¹².

Gonzales y Franco, (1993)⁷ el nematodo quiste de la papa *Globodera spp.* ha evolucionado con su hospedante preferido *Solanum tuberosum* sub sp. tuberosa y *S. tuberosum* sub sp. andigena. Durante este proceso de evolución, el hospedante ha desarrollado mecanismos para defenderse de condiciones desfavorables del medio ambiente, de tal forma que a la actualidad se hallan muy bien adaptados.

La interacción hospedante-parásito en nematodos sedentarios como *Meloidogyne spp.*; *Rotylecnhus spp.*; *Nacobbus sp.*; *Heterodera spp.* y *Globodera spp.* Es la formación de células gigantes o sincitio, lugar especializado y responsable de suministrar los alimentos necesarios para permitir el desarrollo de los estadios juveniles, hasta la formación de adultos y en el caso de hembras, conducir a la producción de huevos viables en cantidad suficiente, esta es la clave del éxito del parasitismo. Seguido a la invasión del nematodo a las raíces, numerosos cambios bioquímicos deben ocurrir en su metabolismo como consecuencia de su compatibilidad (susceptibilidad) o como resultado de su incompatibilidad (resistencia) durante el proceso de relación hospedante parásito.

2.4.20. Relación entre la planta y los nematodos

Schluter (1976)¹² Los nematodos del quiste de la papa son parásitos de las raíces que están muy bien adaptados. El efecto estimulante de un exudado de la raíz de la planta hospedera asegura que los nematodos emerjan solo cuando las condiciones son favorables y con seguridad encontraron raíces de papa. El segundo estado juvenil de los nematodos perfora con su estilete las paredes celulares y entra en la raíz dejando atrás una agrupación de células perforadas.

La saliva que excretan las glándulas del esófago hace que las células radiculares ubicadas cerca de la cabeza de la hembra se agranden y se unan. Estas células agrandadas y unidas, que se llaman sincitios o células de transferencia, le suministran al hembra alimento permanente y son necesarias para el desarrollo de los nematodos.

2.4.21. Determinación de la densidad de poblaciones

El primer paso en esta determinación es saber si el suelo está o no esta infestado, esto es, conocer si el nematodo del quiste este presente o ausente. Los métodos más comunes para determinar la densidad de población son el análisis de suelo y la observación de las raíces.

Análisis de suelo. Para determinar la densidad de población de nematodos, las muestras de los suelos del agricultor son analizadas en laboratorios hematológicos; el suelo seco se suspende en un recipiente con agua y se cuenta el número de quistes que flotan en la superficie. Luego se toma una muestra de quistes para determinar la viabilidad total (contenido de huevos y estados juveniles).

Un método sencillo de análisis que puede hacerse en el campo, proporciona un índice aproximado de la infestación. Se colocan unos 50 gramos de suelo bien mezclado, proveniente de diferentes partes del campo, en una botella de vidrio transparente. Se agrega agua suficiente para mojar bien el suelo y se agita vigorosamente el contenido. Se agrega más agua hasta llegar casi al borde. Los quistes que haya en la muestra flotan. La parte superior del contenido de la botella se vierte sobre papel absorbente de modo que se pueda contar los quistes con ayuda de una lupa común.

2.4.22. Factores de suelo

Debido a que el hábitat de los nematodos es el suelo, los principales factores que afectan al suelo pueden influir directa e indirectamente en la severidad del daño causado por los nematodos.²⁶ 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. La temperatura óptima es diferente para cada especie de Globodera la cual varía entre 15 y 30 °C.

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 nematodos. 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 nematodos a no ser que posean adaptaciones para la supervivencia como es el caso de *Globodera spp* 'NQP'; por ello la humedad adecuada es de 60 a 70 % de capacidad de campo.

Textura: la actividad y los movimientos de los nematodos 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 nematodo. La estructura del suelo y la humedad del suelo son factores importantes para su máxima incubación del nematodo del quiste y para los nematodos 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 nematodos parásitos de plantas.

Aireación: la aireación escasa reduce la supervivencia y la densidad de Población de los nematodos, 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 nematodos.

2.5. MARCO LEGAL

2.5.1. 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, nematodos, malezas²⁹.

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 nematodos, malezas, roedores u otros organismos nocivos para las plantas.

2.5.2. A nivel nacional

El año 1978 se crea el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), durante el gobierno militar de Francisco Morales Bermúdez, 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.

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.

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, entre otros.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

La investigación se desarrolló a 2750 msnm en el laboratorio de zoología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga ubicada en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

3.2. Localización de la fase experimental: Instituto Nacional de Investigación e Innovación Agraria (Estación experimental Canaán – Ayacucho).

Departamento	: Ayacucho
Provincia	: Huamanga
Distrito	: Andrés Avelino Cáceres Dorregaray
Sede Física	: Av. Abancay s/n – Canaán Bajo
Latitud Sur	: 13°09'48"
Longitud Oeste	: 74°12'20"
Altitud	: 2,730 m.s.n.m.
Temperatura	: 12 – 18 °C
Precipitación	: 250 – 500 mm
Zona Agroecológica	: Sierra Tropical Media Alta
Franja Latitudinal	: Sub Tropical
Grupo Ecológico	: Bosque Seco
Zona de Vida	: bs – MBS (bosque seco – Montano Bajo Subtropical)
Cuenca Hidrográfica	: Cachi.



Figura 3. Mapa de ubicación del Instituto Nacional de Innovación Agraria.

3.3. Tipo de investigación

Básica descriptiva

3.4. Población y muestra

Poblaciones de *Globodera spp.*, aisladas de los campos de cultivos productoras de papa de las provincias de Huamanga, Huanta y la Mar.

Muestra

Se utilizaron cinco poblaciones de quistes de *Globodera spp.*, de muestras aisladas y conservadas procedentes de los campos de cultivo de “papa” de las localidades: Macachacra (Huanta), Tambo (La Mar), Chiara, Allpachaca y Chontaca (Huamanga), que se encuentran en el laboratorio de Zoología de la UNSCH.

3.5. Variables e indicadores

Variables Independientes

Variedades de papa:

Variedades comerciales

Yungay

Roja Ayacuchana

Canchan

Variedades nativas:

Chaulina Tumbay Peruanita

Dependientes

Globodera spp

Indicadores.

Nº de huevos y J2 (juveniles) contenidos / quiste

Nº de quistes formados por variedad de papa

3.6. Unidad de Análisis

La unidad de análisis se preparó en una maceta de 250gr con una proporción 3:2:1 de suelo orgánico, arena fina y tierra negra esterilizadas, en esta se colocó un tubérculo de *Solanum tuberosum* (tubérculo aprox.15 gr) tubérculos procedentes de INIA-Ayacucho, empleando variedades Comerciales y nativas, haciendo un total de 30 maceta, considerando dos repeticiones, constituyendo en realidad 90 macetas, en cada una de ellas, se hizo el inóculo de 10 quistes, de globodera según lugar de procedencia, siguiendo el diseño que a continuación se detalla:

Tabla 1. Instalación en el invernadero de INIA de *Solanum tuberosum* (papa) con las cinco poblaciones de quistes Ayacucho – 2014.

Variedades de <i>Solanum tuberosum</i> (papa)		Origen de las poblaciones de quistes de <i>Globodera spp.</i>				
		P1 M	P2 T	P3 CHI	P4 AL	P5 CHT
Variedad Comercial	V1	V1/P1	V1/P2	V1/P3	V1/P4	V1/P5
	V2	V2/P1	V2/P2	V2/P3	V2/P4	V2/P5
Variedad Nativa	V3	V3/P1	V3/P2	V3/P3	V3/P4	V3/P5
	V4	V4/P1	V4/P2	V4/P3	V4/P4	V4/P5
	V5	V5/P1	V5/P2	V5/P3	V5/P4	V5/P5
	V6	V6/P1	V6/P2	V6/P3	V6/P4	V6/P5

Variedades comerciales:

V1: Yungay

V2: Roja Ayacuchana

V3: Canchan

Variedades nativas:

V4: Chaulina

V5: Tumbay

V6: Peruanita

Origen de las poblaciones de quiste

M: Macachacra

T: Tambo

CHI: Chiara

AL: Alpachaca

CHT: Chontaca

3.7 Manejo específico del experimento

3.7.1 Determinación de la viabilidad de los quistes de *Globodera spp.*

Las muestras estuvieron conservadas desde el año 1995 y 2000 en el laboratorio de Zoología de la Universidad Nacional San de Cristóbal de Huamanga – Ayacucho. Para la viabilidad inicial, se tomaron aleatoriamente 10 quistes de igual tamaño, los que fueron triturados con el tubo de Huisman para la contabilidad de los huevos y estadios J2 (segundos estadios juveniles). Para el contaje del número de huevos y J2, Se homogenizó en 30cc de agua destilada tomando en ella en plena agitación 1ml de la suspensión, los que

fueron vertidos a la cámara de contaje, a través de un estereoscopio se determinó la cantidad total de huevos y Juveniles que correspondieron a la viabilidad inicial de cada una de las poblaciones estudiadas. De igual forma se procedió para la viabilidad final, constituida por una maceta de 250gr conteniendo una proporción 3:2:1 de suelo orgánico y arena fina y tierra negra esterilizadas; se colocaron un tubérculo de *Solanum tuberosum* (tubérculo aprox.15 gr) procedentes de INIA-Ayacucho, se tomaron 10 quistes al azar del mismo tamaño para la inoculación a cada maceta con tubérculo, de los variedades comerciales y nativas, y para luego ser trasladado al laboratorio de Zoología de la facultad Ciencias Biológicas para la cosecha de los quistes de globodera.

Fórmula utilizada para la determinación de viabilidad total Franco, Gonzales, Matos (1990)⁷

VT = N°. J2 contados por quiste vivos + huevos no embrionados

$$VT = \frac{\text{Promedio en 30 ml x Vol. de agua}}{\text{N}^\circ \text{ Q}}$$

Dónde:

\bar{x} 3cc

Vol. de agua = Volumen total de agua utilizada;

N° Q = N° quistes por tratamiento.

3.7.2 Evaluación de la resistencia de *Solanum tuberosum*.

Franco, Gonzales, Matos (1990)⁷ se realizó un estudio similar mediante pruebas en macetas, cuya metodología se empleó en la presente investigación, siendo los siguientes procedimientos:

Se preparó una mezcla de tierra agrícola con arena fina, turba, y tierra negra en proporción 3:2:1 que fue acondicionada en paquetes de 250gr, esterilizados en autoclave.

Luego, la tierra esterilizada se trasladó al invernadero de la estación experimental del INIA – CANAAN, empleándose como soporte para la siembra de los tubérculos de papa pre básica (libre de patógenos), los tubérculos fueron proporcionados por el Ing. Máximo Morote Quispe, Director del Instituto Nacional

de Investigación Agraria – Ayacucho, responsable del Programa de Tuberosas Andinas, procedente de la misma estación experimental.

Se inocularon 10 quistes Q(10) tomados aleatoriamente de cada población estudiada a las 90 macetas, luego se regó tres veces a la semana durante todo el periodo del crecimiento vegetativo (4 meses: abril, mayo, junio julio), luego de lo cual se hizo la cosecha.

Las macetas obtenidas de tierra fueron trasladados al laboratorio de Zoología de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, donde se realizó el lavado con agua de caño por cinco veces con la ayuda de un colador, seguidamente con la ayuda del embudo y papel se colocaron los quistes a un recipiente con acetona para eliminar impurezas, los quistes por defecto de la densidad se elevan a la superficie del envase; este sobrenante se dejó secar por 48 horas en papel bond, a continuación, mediante el método de rodamiento (con papel bond de 80gr), se separan los quistes de la materia seca (favorecido por la forma ovalada de los quistes), finalmente con la ayuda del contómetro y estereoscopio se hace el conteo de los quistes totales.

La resistencia se evaluó en macetas, considerando los siguientes parámetros:

La razón P_f/P_i (Población final/Población inicial) o tasa de multiplicación del nematodo (TMN) que puede medirse en quistes (cP_f/cP_i) o en huevos (eP_f/eP_i).

Tabla 2. Escala de evaluación para la prueba en macetas

Parámetros	Escala	Niveles de Resistencia	Simbología
Hembras jóvenes sobre la masa de suelo y raíces	0	Resistente	(R)
	1 - 15	Parcialmente resistente	(PR)
	15 - 50	Moderadamente susceptible	(MS)
	> 50	Susceptible	(S)
Tasa de multiplicación de quistes cPf/cPi	1,0	Resistente	(R)
	1,0 – 2,5	Parcialmente resistente	(PR)
	2,6 – 5,0	Moderadamente susceptible	(MS)
	> 50	Susceptible	(S)
Tasa de multiplicación de huevos ePf/ePi	< 1,0	Resistente	(R)
	1,0 – 3,7	Parcialmente resistente	(PR)
	3,8 – 7,0	Moderadamente susceptible	(MS)
	> 7,0	Susceptible	(S)
Índice de susceptibilidad % = $\frac{\text{Pf del clon probado}}{\text{Pf del control}} \times 100$	0	Resistente	(R)
	1,0 – 12,5	Parcialmente resistente	(PR)
	12,6 - 25,0	Moderadamente susceptible	(MS)
	> 25,0	Susceptible	(S)

Fuente: Franco, Gonzales, Matos (1990)

IV. RESULTADOS

Tabla 3. Viabilidad inicial y final (en porcentajes) de quistes de *Globodera spp.* “NQP” procedentes de cinco campos de cultivo de *Solanum tuberosum* “papa” en relación al tiempo de conservación - Ayacucho 2016.

Lugar	Procedencia año	Tiempo de conserv. años	Viabilidad inicial		Viabilidad final		Viabilidad Total	%
			Promedio (1 ml)	VTf (30 ml)	Promedio (1 ml)	VTf (30 ml)	(VTi - VTf)	
	Allpacha 1995	20	702	21,060	716	21,480	420	1.56
Huamanga	Chiara 1995	20	340	10,200	863	20,490	10,290	50.22
	Chontaca 1995	20	510	15,300	640	19,200	3,900	20.30
Huanta	Macachacra 2000	17	335	10,050	403	12,090	2,040	16.87
La Mar	Tambo 2000	17	255	7,650	483	14,490	3,840	47.2
Total							23,490	100

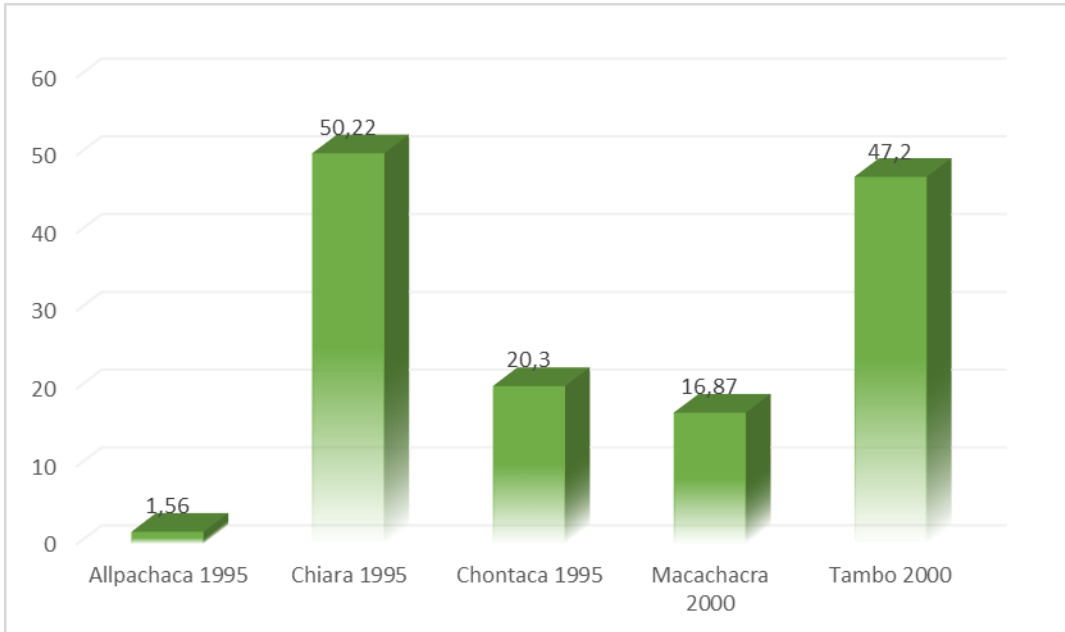


Figura 4. Viabilidad en porcentajes de cinco poblaciones del total de quistes *Globodera spp* "NQP" procedentes de campos de cultivo de *Solanum tuberosum* "papa" en relación al tiempo de conservación - Ayacucho 2016.

Tabla 4. Resistencia de *Solanum tuberosum* variedades comerciales, tasa de multiplicación del nematodo (TMN) *Globodera spp.* “nematodo quiste de la papa”. Ayacucho 2016.

Variedad	Procedencia	Promedio Nº. quistes	%	TMN (NQP)	Escala de * Evaluación
Canchan	Macachacra	114	6.39	11.43	Susceptible
Canchan	Tambo	296	16.56	29.63	Susceptible
Canchan	Chiara	455	25.41	45.47	Susceptible
Canchan	Allpachaka	570	31.84	56.97	Susceptible
Canchan	Chontaca	354	19.80	35.43	Susceptible
Total		1789	100		
Yungay	Macachacra	327	25.10	32.70	Susceptible
Yungay	Tambo	291	22.31	29.07	Susceptible
Yungay	Chiara	185	14.20	18.50	Susceptible
Yungay	Allpachaka	321	24.66	32.13	Susceptible
Yungay	Chontaca	179	13.74	17.90	Susceptible
Total		1303			
Roja Ayacuchana	Macachacra	198	13.69	19.83	Susceptible
Roja Ayacuchana	Tambo	280	19.34	28.03	Susceptible
Roja Ayacuchana	Chiara	314	21.65	31.37	Susceptible
Roja Ayacuchana	Allpachaka	323	22.29	32.30	Susceptible
Roja Ayacuchana	Chontaca	334	23.03	33.37	Susceptible
Total		1449			

* Escala de evaluación para prueba en macetas
Fuente: Franco, Gonzales, Matos (1990)

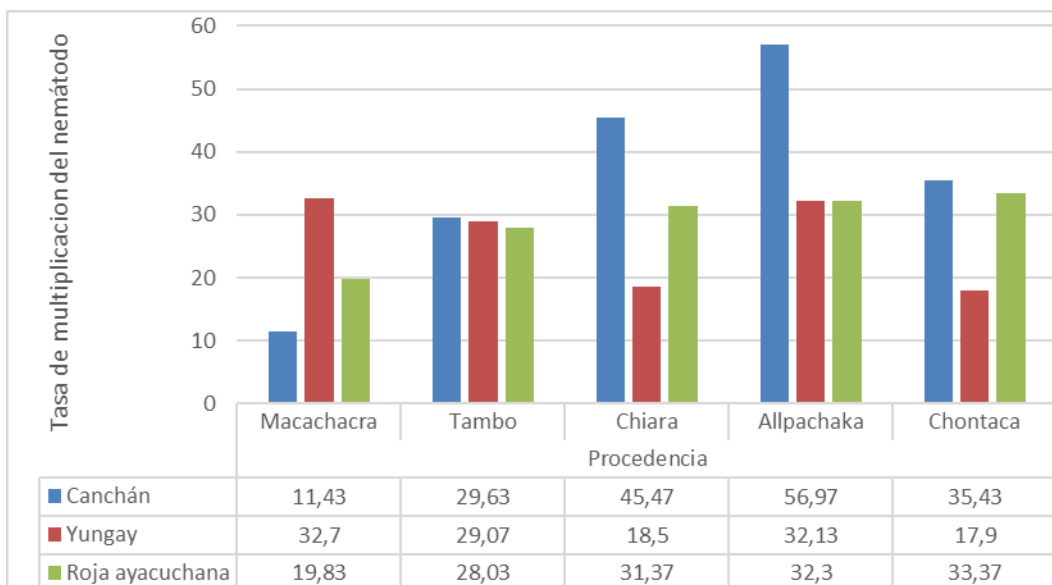


Figura 5. Resistencia de *Solanum tuberosum* variedades comercial, tasa de multiplicación del nematodo *Globodera* spp. “nematodo quiste de la papa”. Ayacucho 2016.

Tabla 5. Resistencia de *Solanum tuberosum* variedades comerciales, tasa de multiplicación del nematodo (TMN) *Globodera spp.* “nematodo quiste de la papa”. Ayacucho 2016.

Variedad	Procedencia	Promedio Nº. quistes	%	TMN (NQP)	Escala de * Evaluación
Chaulina	Macachacra	139	16.43	13.90	Susceptible
Chaulina	Tambo	148	17.46	14.77	Susceptible
Chaulina	Chiara	195	23.05	19.50	Susceptible
Chaulina	Allpachaka	120	14.18	12.00	Susceptible
Chaulina	Chontaca	244	28.88	24.43	Susceptible
	Total	846	100.00		
Tumbay	Macachacra	204	15.42	20.40	Susceptible
Tumbay	Tambo	172	13.00	17.20	Susceptible
Tumbay	Chiara	238	17.97	23.77	Susceptible
Tumbay	Allpachaka	324	24.47	32.37	Susceptible
Tumbay	Chontaca	385	29.13	38.53	Susceptible
	Total	1323	100.00		
Peruanita	Macachacra	183	10.50	18.30	Susceptible
Peruanita	Tamboguhíño	209	11.99	20.90	Susceptible
Peruanita	Chiara	588	33.75	58.83	Susceptible
Peruanita	Allpachaka	411	23.58	41.10	Susceptible
Peruanita	Chontaca	352	20.19	35.20	Susceptible
	Total	1743	100.00		

* Escala de evaluación para prueba en macetas

Fuente: Franco, Gonzales, Matos (1990)

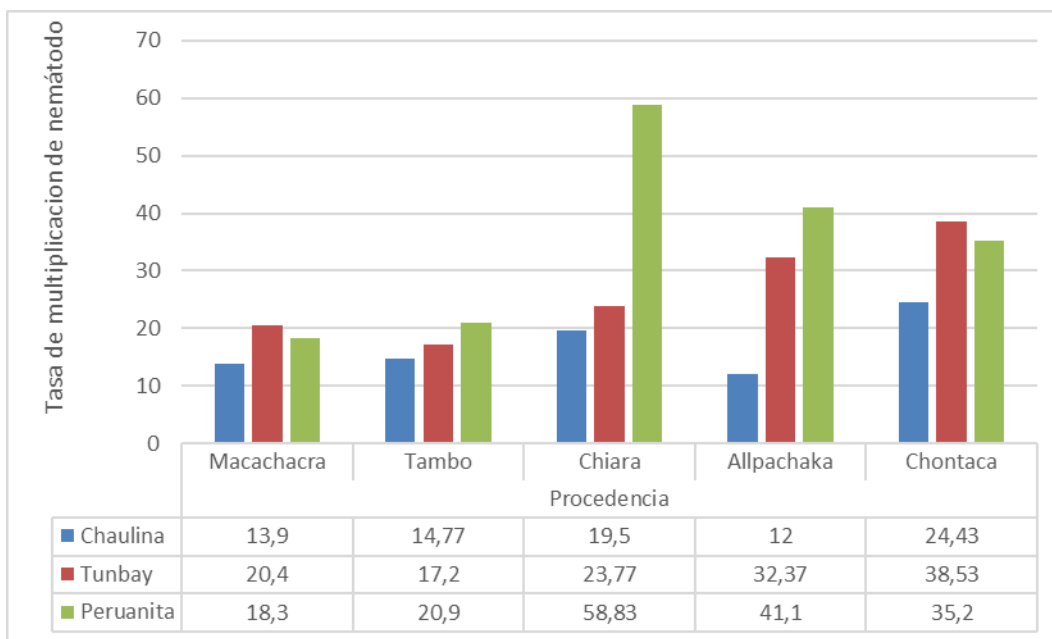


Figura 6. Resistencia de *Solanum tuberosum* variedad nativa como tasa de multiplicación del nematodo *Globorera spp.* Nematodo “quiste de la papa”. Ayacucho 2016

V. DISCUSIÓN

La figura 1 se realizó el cálculo por la diferencia entre la viabilidad final y la viabilidad inicial entre viabilidad final multiplicado por cien, procedentes de Allpachaka, Chiara y Chontaca del año 1995, en tanto para Macachacra y Tambo fue del año 2000.

En los quistes provenientes del año 1995, se obtuvo la mayor viabilidad (50.22%) con los quistes provenientes de Chiara, en tanto que la menor viabilidad (1.56%) fue de Allpachaka, con los quistes correspondientes al año 2000, la mayor viabilidad fue de Tambo (47.2%). La diferencia de la viabilidad para los quistes del año 1995; es decir con 20 años de antigüedad, y la disminución de viabilidad de quistes del año 2000, con 17 años de antigüedad se deben probablemente a que la composición de la membrana del quiste se mantiene inalterable pese al transcurrir del tiempo; Caicedo, L. y Canal, J. (1980)¹³ señalan que, la asimilación de sustancias quitinosas y esteroides son los que inducen a la formación de los quistes, estado por el cual la estructura constituye una adaptación a condiciones desfavorables de humedad, temperatura y descomposición que le permite permanecer al nematodo viable más de 15 años; otra explicación posible de la disminución de la viabilidad total de los quistes de *Globodera pallida* y *Globodera rostochiensis* está en función al tiempo y edad, investigaciones desarrolladas por Rueda et al (2004)¹, en San Juan Vaquería – Colombia, reporta una viabilidad total de 45 quistes en un lote y 20 quistes en otro lote de experimentación. Martínez (2011)⁴ en Xalapa – Vera Cruz, la ciudad de México, reportó con mayor número de quistes viables (108 quistes) en sembríos de San Martín Villegas, 111 quistes viables en sembríos de Pedro Martínez Guzmán y 158 quistes viables en sembríos de Juan Hernández. El suministro de alimento por el sincito, garantiza que las hembras produzcan huevos viables en cantidades suficientes (Caicedo L, y Canal L. J. 1980)¹³,

entonces las condiciones ambientales como la temperatura, humedad, y las condiciones en el invernadero fueron favorables para su vigorosidad de la planta, también fue por las proporciones de nutrientes que permitió que las plantas activaran sus proteínas, enzimas, lípidos, aminoácidos, es por ello que la viabilidad del año 95 fueron significativos y para el año 2000 de igual manera.

En cuanto a la respuesta de *Solanum tuberosum*, variedades comerciales frente a *Globodera spp* "NQP" aisladas de cinco zonas productoras de papa de Ayacucho, la tasa de multiplicación de *Globodera pallida* "NQP" expresados en población final /población inicial; conforme a los resultados que se evidencian en la Tabla 2, podemos indicar que la variedad Canchán frente a la población de *Globodera spp.* procedente de la localidad de Allpachaca (TMN = 56.97), es la que presentó mayor tasa de multiplicación con promedio de 570 quistes (31.84%), a partir de 10 quistes inoculados con una antigüedad de 20 años de conservados en laboratorio, la continuante es la variedad Yungay frente a *Globodera spp.* procedente de la localidad de Macachacra (TMN = 32.70), con 327 quistes (25.10%); la variedad Roja Ayacuchana con población de *Globodera spp* procedente de la localidad de Chontaca (TMN = 33.37), con 334 quistes (23.03%).

Este comportamiento se puede deducir debido a que las variedades resistentes aquellas que no dejan que las larvas no formen células gigantes, que son cruciales para alimentar al nematodo de esta manera los nematodos invaden a la raíz, pero no logra desarrollarse ni formar hembras, las larvas mueren y la población de nematodo decae a pesar que se haya cultivado tubérculos. Por eso se dice que la variedad resistente limpia el campo; la resistencia se mide a través de la tasa de reproducción del nematodo, en las variedades: Yungay, Canchan, Peruanita deja en el campo un promedio de 150 huevos por gramo de suelo.

Respecto a la resistencia de *Solanum tuberosum*, en las variedades nativas, la tasa de multiplicación de *Globodera spp* "NQP" expresados en población final población inicial; conforme a los resultados que se evidencian en la Tabla 3, indican que la variedad peruanita en relación a la población de *Globodera spp.* procedente de la localidad de Chiara, es el que presentó mayor tasa de multiplicación (TMN = 58.83) con promedio de 588 quistes (33.75%), a partir de 10 quistes inoculados con una antigüedad de 20 años de conservación en laboratorio; le sigue la variedad Tumbay en relación a *Globodera spp.*

procedente de la localidad de Chontaca (TMN = 38.53), con 385 quistes (29.13%); la variedad Chaulina con población de *Globodera spp.* procedente de la localidad de Chontaca (TMN = 24.43), con 244 quistes (28.88%) y peruanita con chiara (TMN =58.83), con 588 quistes(33.73%).Este resultados que presenta cada variedad de papa tiene una reacción diferente a los nematodos; algunas son muy intolerantes y sus rendimientos disminuye y otras pueden ser atacados por altas poblaciones de quistes y no pierden en su rendimiento; algunos investigadores señalan que una variedad puede ser tolerante y resistente, o tolerante y susceptible; explican que los niveles de respuesta se manifiestan como tolerante-susceptibles en la mayoría de las variedades de tubérculos investigadas a nivel nacional, éstas variedades toleran hasta cierta densidad de nematodos y luego su rendimiento empieza a disminuir, esta pérdida se presenta en años secos, debido a que la raíz parasitada no puede explotar bien la humedad y los nutrientes del suelo. El CIP considera que, la resistencia de las variedades de papa se mide a través de la tasa de reproducción del nematodo, en tanto que el rendimiento se mide con la tolerancia o susceptibilidad de una determinada variedad de papa; hecho la interpretación de los resultados de la presente investigación basada en la escala de evaluación utilizada en la prueba de maceta por J. Franco; A. González y, A. Mato(1993)⁷,afirmamos que la tasa de multiplicación de quistes, en todas las variedades nativas investigadas son mayores que cinco, significando que todas son susceptibles.

Los principios alelopáticos de las variedades de papa frente a *Globodera spp.* Sustentan, que los componentes de los metabolitos secundarios liberados a través del exudado radicular actúan básicamente en algunos de estas variedades, estimulando el desarrollo embrionario de los huevos, otros permiten la ubicación del hospedante (tubérculo) por el nemátodo y otras variedades tienen efecto inhibitorio. Estos metabolitos afectan algunos procesos de germinación, nitrificación que forman parte de los procesos biológicos.

El CIP considera que, la resistencia de las variedades de papa se mide a través de la tasa de reproducción del nematodo, en tanto que el rendimiento se expresa con la tolerancia o susceptibilidad de una determinada variedad de papa; hecho la interpretación de los resultados de la presente investigación basada en la escala de evaluación utilizada en la prueba de maceta por J. Franco; A. González y, A. Matos (1990).⁷confirmamos que las tasas de multiplicación de

quistes en todas las variedades nativas de papa investigadas son mayores que cinco, significando que todas son susceptibles.

Las pruebas de macetas son más precisas, mientras que las pruebas de campo son utilizadas mayormente para confirmar resistencia y estimar valor agronómico y adaptación de clones. Rueda et al (2004)¹, reportaron en la localidad San Juan Vaquería en Colombia una densidad poblacional del lote A con 21 quistes/kg de suelo seco y el lote B, se presentó 2 quistes/kg de suelo seco, resultados que son menores a los hallados en la presente investigación. Asimismo, Martínez (2011), halló el mayor promedio de quistes totales de la siguiente manera: 218 quistes en sembríos de Juan Hernández, 221 en sembríos de Pedro Martínez Guzmán y 235 en sembríos de Martín Villegas, y los menores promedios de quistes se dieron cero quistes en sembríos de Alfredo Martínez Hernández, 11 quistes en sembríos de Agustín Martínez y 27 quistes en sembríos de Pablo Flores Hernández, resultados que son mucho menores a los hallados en la presente investigación.

En nuestro trabajo, ninguna variedad (nativa ni comercial) resultó resistente, todas fueron susceptibles, la bibliografía reporta que variedades como María huanca, Santa Ana y Wankita, son resistentes, sin embargo, no se trabajó con ninguna de estas variedades. La resistencia se mide a través de la tasa de reproducción de los nematodos, por ello los resultados obtenidos en la investigación en cuanto a la cantidad de producción de nematodos es variado, ninguna de las variedades resultó ser resistente, acuerdo al parámetro de la escala de evaluación utilizada en la prueba de maceta, la tasa de multiplicación de quistes es mayor a 5,0 quiere decir es susceptible, que las variedades nativas y comerciales según procedencia fueron susceptibles, entonces podemos explicar que las condiciones ambientales como la temperatura, fue de 25 grados y es óptimo para el crecimiento y desarrollo con mayor vigorosidad, las plantas de las variedades nativas y comerciales de *Solanum tuberosum*.

VI. CONCLUSIONES

1. La viabilidad de los quistes de *Globodera spp* del año 1995 provenientes de Chiara dieron la mayor viabilidad (50.22%), en tanto que la menor viabilidad (1.56%) fue de Allpachaca. En los quistes correspondientes al año 2000, la mayor viabilidad fue de Tambo (47.2%), en tanto menor viabilidad fue Macachacra (16.87%).
2. En las variedades estudiadas de *Solanum tuberosum* no muestran resistencia frente al ataque de *Globodera spp*, al contrario, han mostrado susceptibilidad siendo mayor en la variedad Canchán (comercial) de la localidad de Allpachaca (TMN = 56.97)., mayor en la variedad peruanita (nativa) procedente de la localidad de Chiara (TMN = 58.83).

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones referidas al tema directamente en los campos de cultivos de papa de las diferentes provincias y distritos de Ayacucho, para determinar la magnitud real del problema de infestación de la *Globodera spp.*, ya que en condiciones de laboratorio varían las condiciones medio ambientales y climatológicas.
2. Sugerir a las autoridades de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga realizar cursos, talleres, charlas, etc., con la finalidad de capacitar a los agricultores de la región de Ayacucho en el manejo de plagas como son lo nematodo y otros tipos de plagas que disminuyen los rendimientos de los cultivos de la papa.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RUEDA EO, TARAZÓN MA, GARCÍA JL, MURILLO B, HOLGUÍN RJ, FLORES A, PRECIADO P, BARRÓN JM, GARCÍA J. Presencia del nematodo dorado *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Skarbilovich, en lotes de papa (*Solanum tuberosum* L.) del Estado de Coahuila, México. Revista Mexicana de Fitopatología, vol. 24, núm. 1, enero-junio, 2006, pp. 20-26.
2. RIERA WI. Evaluación de la resistencia y/o tolerancia de 24 variedades de papa nativas al parasitismo del nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*) en invernadero Cutuglahua – Pichincha. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Cayambe, diciembre 2009.
3. FRANCO J, GONZÁLEZ A. Pérdidas causadas por el nematodo Quiste de la papa (*Globodera* sp.) en Bolivia y Perú. Revista Latinoamericana de la Papa, Vol. 16 (2), 2011: 233 -249.2011.
4. MARTÍNEZ, AM. Densidad poblacional de quistes y larvas (J2) *Globodera rostochiensis* en suelos cultivados con papa en el paisano Municipio de las Vigas de Ramírez. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Xalpa. Xalapa, Veracruz, 2011.
5. ADONAI Y, ALEJANDRO D. Distribución poblacional del nematodo quiste de la papa (*Globodera spp*) en dos zonas productoras de los Municipios de Tausa (Cundinamarca) y Ventaquemada (Boyacá). Corporación Universitaria Minuto de Dios. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Agroecológica. Bogotá D. C. diciembre de 2013.
6. STONE, A. R. *Heterodera rostochiensis*. C.I.H. Descriptions of Plant Parasitic Nematodes. London – UK. 1973.
7. FRANCO J, GONZÁLEZ A Y MATOS A. Evaluación de resistencia de la papa al nematodo del quiste *Globodera pallida*. CIP. Lima – Perú. Nematropica, 1990.
8. GRECO, N., et al. The effect of *Globodera pallida* and *G. rostochiensis* on potato yield. Roma – Italia. 1982.
9. CHRISTIE, J. Nematodos de los Vegetales, su Ecología y Control. CRAI-AID. México DF. – México. 1970

10. ARRIBAS Y. Acción nematocida (*G. rostochiensis*) y metabólica del suelo en procesos de biodesinfección por aplicación de enmiendas de origen animal, vegetal y antrópico. Universidad de Burgos. Escuela Politécnica Superior. 2013.
11. KORT, J., Ross, H., Rumpfenhorst, H.J. and Stone, A.R. An international scheme for identifying and classifying pathotypes of potato cyst-nematodes *Globodera rostochiensis* and *G. pallida* 1977.
12. SCHLUTER, K. The potato cyst eelworm *Heterodera rostochiensis* Woll. in Morocco: Its distribution and economic importance. *Journal of Plant Disease and Plant Protection*. 1976
13. CAICEDO, L. Y CANAL, J. ciclo de vida del nematodo del quiste de la papa *Globodera Pallida* STONE en el departamento de Mariño – Colombia 1980
14. CANTO SAEN – Lima- Perú variabilidad del nematodo de quiste de la papa en la zona Andina 1971
15. PEÑA R., y PÁEZ, J. Fitopatología. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2011.
16. MOSQUERA T, FERNÁNDEZ C, MARTÍNEZ L, ACUÑA A, CUÉLLAR D. Genética de la resistencia de la papa (*Solanum tuberosum*) a patógenos. Estado de arte. *Agron. colomb.* vol.26 no.1 Bogotá Jan./June 2008.
17. ANDRADE C. *Globodera spp.* Evaluación en campos de cultivo de *Solanum tuberosum*. *Revista de Sanidad Agrícola, Venezuela*, Vol. 1(2):245 – 260. 2009
18. SÁNCHEZ V. Daños causados por *Globodera spp.* En las plantas de *Solanum tuberosum*. *Revista de Sanidad Agrícola, Venezuela*, Vol. 1(1): 123 – 138. 2010.
19. CANTO, M. Copias del curso de nematología. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 1992
20. MATEU, M. Cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*). Ayacucho – Perú 2014
21. TUESTA, D. Cátedra de Malezas, Facultad de Ciencias Agrarias y Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario. s/f
22. FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
23. ARMIN BOLLINGER: So nährten sich die Inka. Rüeegger Verlag, Grüschen (1986)

24. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA); Marco legal; Leyes y normas; Apartado postal. 2791;(06-02-2017; 06-02-2017)
(WWW.inia.gob.pe;1041-2017).
25. SEINHORST J. DYNAMICS of populations of plant parasitic nematodes. Institute of Phytopathological Research ed.W agenigen – Netherlands. 1970.
26. Mc J. Molecular Approaches Toward Resistance to Plant- Parasitico Nematodes. W ashington University School ed. W ashington – United States,2008.
27. Separata de Normas Legales; Leyes de Sanidad Agraria; lima (28- 06-2008) pp.1-6
28. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA); Marco legal; Leyes y normas; Apartado postal. 2791;(06-02-2017; 06-02-2017)
(WWW.inia.gob.pe; 1041-2017).
29. 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
30. Riera 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.

ANEXOS

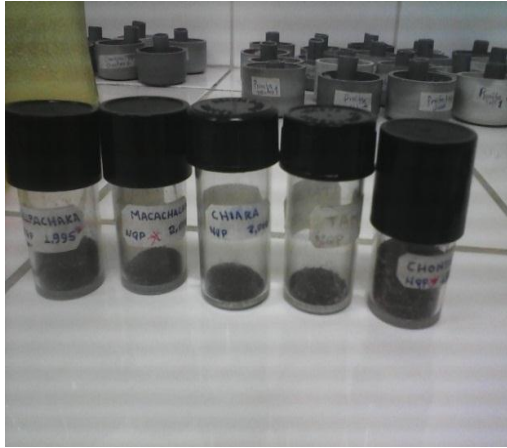
Anexo 1. Promedio de datos obtenidos del número total de quistes de la variedad comercial de *solanum tuberosum*.

Variedad	Procedencia	Repetición			
		M 1	M 2	M 3	\bar{x}
Canchan	Macachacra	126	131	86	114.3
Canchan	Tambo	332	335	222	296.3
Canchan	Chiara	540	483	341	454.7
Canchan	Allpachaka	662	620	427	569.7
Canchan	Chontaca	402	395	266	354.3
Yungay	Macachacra	394	342	245	327.0
Yungay	Tambo	344	310	218	290.7
Yungay	Chiara	124	292	139	185.0
Yungay	Allpachaka	335	388	241	321.3
Yungay	Chontaca	203	200	134	179.0
Roja Ayacuchana	Macachacra	185	261	149	198.3
Roja Ayacuchana	Tambo	289	342	210	280.3
Roja Ayacuchana	Chiara	312	394	235	313.7
Roja Ayacuchana	Allpachaka	345	382	242	323.0
Roja Ayacuchana	Chontaca	429	322	250	333.7

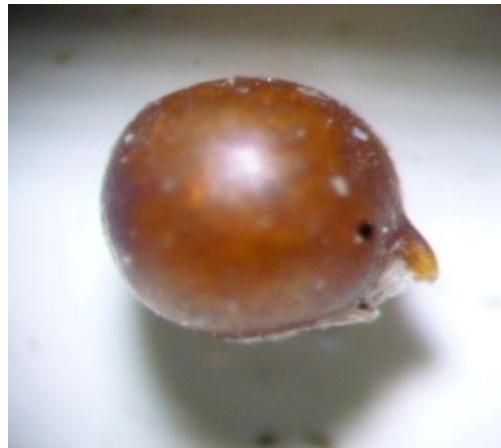
Anexo 2. Promedio de datos obtenidos del número total de quistes de la variedad nativa de *solanum tuberosum*.

Variedad	Procedencia	Repetición			
		M 1	M 2	M 3	\bar{x}
Chaulina	Macachacra	85	228	104	139.0
Chaulina	Tambo	170	162	111	147.7
Chaulina	Chiara	229	210	146	195.0
Chaulina	Allpachaka	123	147	90	120.0
Chaulina	Chontaca	290	260	183	244.3
Tunbay	Macachacra	229	230	153	204.0
Tunbay	Tambo	183	204	129	172.0
Tunbay	Chiara	274	261	178	237.7
Tunbay	Allpachaka	335	393	243	323.7
Tunbay	Chontaca	452	415	289	385.3
Peruanita	Macachacra	132	280	137	183.0
Peruanita	Tambo	210	260	157	209.0
Peruanita	Chiara	803	521	441	588.3
Peruanita	Allpachaka	293	632	308	411.0
Peruanita	Chontaca	320	472	264	352.0

Anexo 3. Quistes de nemátodos *Globodera ssp* según lugares de procedencia



Fotografía 1 Nematodos de las 5 poblaciones conservadas en el laboratorio de Zoología de la Universidad Nacional De San Cristóbal de Huamanga - 214



Observaciones microscópicas para la Identificación de los quistes de cada una de las poblaciones. Ayacucho 2014.

Anexo 4. Instalación para la siembra de los tubérculos en INIA – Ayacucho



Fotografía 3. Instalación de los 90 de las macetas con sus respectivas repeticiones INIA- Ayacucho 214.



Fotografía 4. Muestras de un tubérculo con sus 10 quistes INIA Ayacucho 2014.



Fotografía 5. Las 90 macetas instaladas cada una con su respectivo tubérculo y sus 10 quistes de los precedentes de Macachacra Tambo Chiara Allpachaka y chontaca INIA- Ayacucho 2014



Fotografía 6 Rotulación de cada una de las macetas sembradas con su respectivo código INIA – Ayacucho 2014

Anexo 5. Evaluación de crecimiento y desarrollo de la papa (*Solanum tuberosum*)



Fotografía 7. Evaluación de crecimiento y desarrollo de la papa en la segunda semana INIA- Ayacucho 214.



Fotografía 8. Evaluación y crecimiento de la papa INIA Ayacucho 2014.



Fotografía 9. Medición del crecimiento del follaje y longitud de la planta INIA- Ayacucho 2014

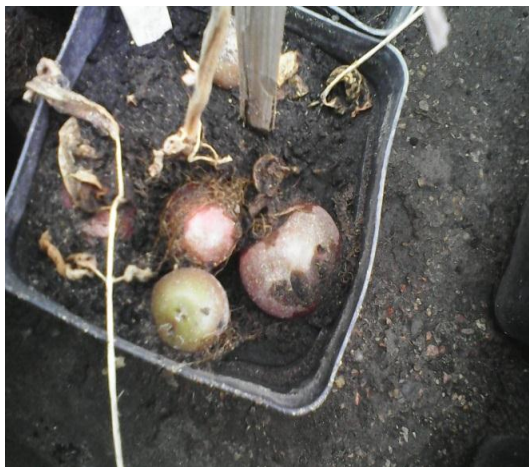


Fotografía 10. Las plantas de la papa en su máximo desarrollo INIA – Ayacucho 2014

Anexo 6. Cosecha de los tubérculos (*Solanum tuberosum*) instalados en INIA Ayacucho 2014



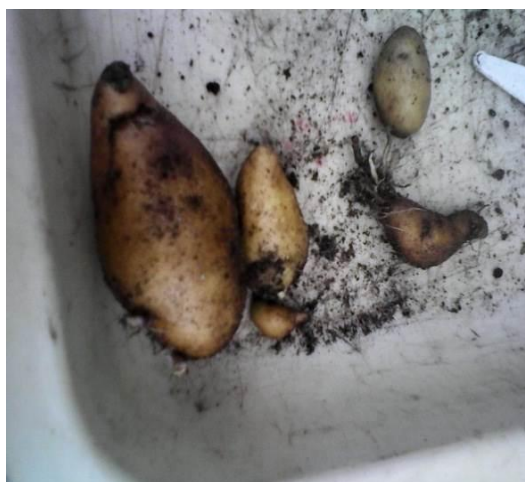
Fotografía 11. Evaluación de las plantas de *Solanum Tuberosum* en estado de madurez INIA- Ayacucho 214.



Fotografía 12. Evaluación de número de tubérculos de cada planta y maceta. INIA - Ayacucho 2014.



Fotografía 13. Evaluación de y conteo de números de tubérculos de cada una de las 90 macetas INIA- Ayacucho 2014



Fotografía 14. Evaluación macroscópica de la raíz de la planta INIA – Ayacucho 2014

Anexo 7. Lavado del suelo para la separación de los quistes después de la cosecha de los tubérculos (*Solanum tuberosum*) instalados en INIA Ayacucho 2014.



Fotografía 15. Separación de tierra y restos de materia orgánica en el laboratorio de Zoología –UNSCH Ayacucho 214.



Fotografía 16. Lavado de la tierra en laboratorio de Zoología UNSCH - Ayacucho 2014.



Fotografía 17. Con la ayuda del cernidor y papel filtro se separa el agua los restos de materia orgánica y los quistes en el laboratorio de Zoología UNSCH - Ayacucho 2014



Fotografía 18. Secado de del quiste y la materia orgánica para la separación por el método de rodamiento en el laboratorio de Zoología UNSCH –Ayacucho 2014

Anexo 8. Proceso de separación de quistes por método de rodamiento con el papel bond de 80gr.en el laboratorio de Zoología de la UNSCH – Ayacucho 2014.



Fotografía 19. Separación de quistes de los restos de materia orgánica con el método de rodamiento en el laboratorio de Zoología –UNSCH Ayacucho 2014.



Fotografía 20. Quistes de *globodera ssp.* En el laboratorio de Zoología UNSCH - Ayacucho 2014.



Fotografía 21. Observación microscópica de los quistes en el laboratorio de Zoología UNSCH - Ayacucho 2014



Fotografía 22. Observación de quistes en el laboratorio de Zoología UNSCH – Ayacucho 2014

Anexo 9.
Matriz de consistencia

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEORICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Evaluación de Resistencia de Solanum tuberosum Var. Comercial y Nativa frente a Globodera spp. "Nemátodo Quiste de la Papa". Ayacucho, 2014.</p>	<p>¿Cuál será la Resistencia de Solanum tuberosum Var? Comercial y Nativa frente a Globodera spp. ?</p>	<p>1. General Evaluar la Resistencia de Solanum tuberosum frente a Globodera spp. "Nemátodo Quiste de la Papa".</p> <p>2. Específico: 2.1 Determinar la viabilidad de los Quistes de Globodera spp. en función al tiempo de Conservación.</p> <p>2.2 Evaluar la Resistencia de Solanum tuberosum variedad. Nativa: Chaulina Tumbay Peruanita y Comercial: Yumgay Roja Ayacuchana Canchan y frente a Globodera spp. Aisladas de cinco zonas productoras de "papa" de la Provincia de Huamanga – Ayacucho..</p>	<p>1. El Nematodo quiste de la papa: origen y distribución.</p> <p>2. Taxonomía, identificación, Ciclo Biológico.</p> <p>3. Patogenicidad y magnitud de daño.</p> <p>4. Dinámica de población.</p> <p>5. Síntomas y daños que ocasiona el NQP.</p> <p>6. Resistencia</p>	<p>1.ALTERNATIVA La resistencia de Solanum tuberosum var. Comercial y Nativa a Globodera spp. Son distintas.</p> <p>2.NULA Solanum tuberosum variedades Comercial y nativas no presentan resistencia a Globodera spp.</p>	<p>1.VARIABLES 1.1 Independientes -Quistes de Globodera spp -Variedades de papa Comercial y Nativa.</p> <p>1.2 Dependientes -Viabilidad de huevos de Globodera spp -Niveles de resistencia de Solanum Tuberosum</p> <p>2. INDICADORES. • N° de huevos y J2 contenidos /quiste • N° de quistes formados por variedad de papa • N° de variedades de papa</p>	<p>POBLACION: Quistes de Globodera spp. Aislados de los campos de cultivo productoras de papa de la Provincia de Huamanga, Huanta y La Mar.</p> <p>MUESTRA: Cinco poblaciones de Globodera spp. "NQP" provenientes de campos de cultivo productoras de papa de la Provincia de Huamanga, Huanta y La Mar.</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: Básica – Experimental</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Experimental.</p> <p>RÉGIMEN DE INVESTIGACIÓN: Forma parte de Investigación del Instituto de Investigación de Ciencias Biológicas.</p> <p>DISEÑO EXPERIMENTAL: Factorial AXB</p>