

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

RESISTENCIA Y TOLERANCIA A *Phytophthora infestans* DE CUATRO
MATERIALES GENÉTICOS DE *Solanum tuberosum*

POR:

OSCAR DANIEL RAMOS ENAMORADO

TESIS

PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A.

JUNIO, 2016

RESISTENCIA Y TOLERANCIA A *Phytophthora infestans* DE CUATRO
MATERIALES GENÉTICOS DE *Solanum tuberosum*

POR:

OSCAR DANIEL RAMOS ENAMORADO

ADÁN ALVARADO RAMÍREZ, M.Sc.

Asesor Principal

TESIS

PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A.

JUNIO, 2016

DEDICATORIA

A **Dios**, por brindarme la oportunidad de vivir, darme salud y sabiduría.

A mi madre **Vilma Dinora Enamorado**, por darme la vida, instruirme en cada momento, cuidar de mí, apoyarme, y darme todo su amor.

A mis abuelos **Inés Enamorado** y **Francisca Muñoz**, por ayudar en mi educación desde niño, y darme su apoyo siempre, y brindarme todo su cariño.

A los miembros de mi familia que en algún momento de mi vida me apoyaron.

A mis amigos y compañeros del **cuarto 1-O de H-Grande**, por todos los momentos de lucha que pasamos.

A mi novia **Carmen Ramos**, por estar siempre a mi lado en toda mi vida universitaria.

A mis compañeros y grandes amigos durante mi estadía en la universidad **Delio Ramos**, **Nicole Ramos** y **Nain Pineda**, por cuatro años en los que compartimos muchas celebraciones, alegrías, y momentos en los que la pasamos bien.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por brindarme salud, y sabiduría desde el momento de nacer y durante toda mi vida.

A mis dos madres; mi mamá **Vilma Dinora Enamorado** por haberme dado la vida y junto con mi abuela **Francisca Muñoz**, amarme, cuidarme, enseñarme valores que me han marcado en la vida, y mostrarme el camino correcto en cada momento. A mi abuelo **Inés Enamorado**, por mantener siempre a nuestra familia, con su esfuerzo y el trabajo en el campo. **A mis hermanos.**

Al **Ing. Lenin Pineda**, por todo el apoyo durante el trabajo de tesis. Y a todos los empleados de las oficinas de la regional de DICTA Marcala: **Lic. Glenda, Yadira , Ing. Rubén**, por los buenos momentos compartidos en el periodo de realización de tesis.

A mi novia **Carmen Ramos**, por estar a mi lado en los buenos momentos y animarme en los momentos de desaliento.

A mis compañeros y amigos del **cuarto 1-O de H-Grande** A mis amigos y compañeros de clase **Nicole Ramos, Delio Ramos**, por compartir cuatro años de alegrías, estudio, desvelo.

A la alcaldía del municipio de San Pedro de Zacapa, y al **Sr. Alcalde Nery Hernández**, por el apoyo económico durante realizaba mis estudios en la universidad.

A la **Universidad Nacional de Agricultura** por haberme formado como profesional de las ciencias agrícolas.

CONTENIDO

DEDICATORIA	pág ii
AGRADECIMIENTOS	iii
LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. General	2
2.2. Específicos.....	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>)	3
3.1.1. Taxonomía del patógeno <i>P. infestans</i>	3
3.1.2. Morfología de <i>P. infestans</i>	3
3.1.3. Ciclo de vida de <i>P. infestans</i>	4
3.1.4. Variabilidad genética	5
3.1.5. Sintomatología	5
3.1.6. Epifitiología	6
3.2. Manejo del tizón tardío (<i>P. infestans</i>)	7
3.2.1. Manejo integrado del tizón tardío (<i>P. infestans</i>).....	8
3.2.2. Control químico	9
3.2.3. Control genético	10

3.3. Materiales genéticos bajo estudio.....	11
3.3.1. Puren-INIA.....	11
3.3.2. Bellini.....	11
3.3.3. Clon 301029.18.....	12
3.3.4. Clon 393077.54.....	12
3.4. Aplicación de pesticidas y el cambio climático	13
IV. MATERIALES Y MÉTODO	15
4.1. Descripción del lugar donde se realizó la investigación	15
4.2. Materiales y equipo	15
4.3. Diseño y experimental y tratamientos	15
4.4. Modelo aditivo lineal.....	16
4.5. Manejo del experimento	16
4.5.1. Preparación del suelo	16
4.5.2. Siembra	17
4.5.3. Fertilización.....	17
4.5.4. Control de plagas y enfermedades	17
4.5.5. Control de malezas.....	18
4.5.6. Cosecha	18
4.6. Variables evaluadas.....	18
4.6.1. Días a floración	18
4.6.2. Tiempo de aparecimiento de síntomas (TAS).....	18
4.6.3. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC).....	19
4.6.4. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (rAUDPC)	20
4.6.5. Escala de susceptibilidad a <i>P. infestans</i>	20
4.6.6. Numero de tubérculos por planta	21

4.6.7. Rendimiento total en kg.ha ⁻¹	21
4.7. Análisis estadístico	21
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1. Días a floración	22
5.2. Tiempo de aparecimiento de síntomas (TAS).....	22
5.3. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC)	23
5.4. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (rAUDPC).....	27
5.5. Escala de susceptibilidad a <i>P. infestans</i>	28
5.6. Numero de tubérculos por planta	29
5.7. Rendimiento total en kg.ha ⁻¹	30
5.8. Análisis de correlación lineal de Pearson.....	32
VI. CONCLUSIONES	34
VII. RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	36

LISTA DE CUADROS

	pág
Cuadro 1. Descripción y aleatorización de los tratamientos evaluados.	16
Cuadro 2. Escala de severidad de tizón tardío (<i>P. infestans</i>).	19
Cuadro 3. Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza y significancia estadística para los cuatro materiales genéticos evaluados.	24
Cuadro 4. Medias de cinco variables de los materiales genéticos evaluados.	25
Cuadro 5. Valores de la escala de susceptibilidad a <i>P. infestans</i> de los materiales genéticos bajo estudio.	29
Cuadro 6. Coeficiente de correlación lineal de Pearson y nivel de significancia de las variables evaluadas en los materiales genéticos de papa.	32

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Tiempo de aparecimiento de síntomas (TAS), para los materiales genéticos evaluados	23
Figura 2. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC) para cada uno de los materiales genéticos evaluados.....	25
Figura 3. Curva de progreso de la enfermedad de los genotipos bajo estudio.	26
Figura 4. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (rAUDPC) para los cuatro materiales genéticos evaluados.....	27
Figura 5. Promedio tubérculos por planta para los cuatro materiales genéticos evaluados.	30
Figura 6. Rendimiento promedio en kg.ha ⁻¹ para los cuatro materiales genéticos evaluados.	31

Ramos Enamorado, OD. 2016. Resistencia y tolerancia a *Phytophthora infestans* de cuatro materiales genéticos de *Solanum tuberosum*. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Olancho, Honduras. 49 p.

RESUMEN

La investigación se realizó en la Estación experimental de DICTA, en Santa Cruz, Opatoro, La Paz (1779 msnm), durante los meses de Octubre a Diciembre 2015 y Enero 2016. Se evaluó la resistencia o tolerancia de cuatro genotipos de *S. tuberosum* al ataque de *P. infestans*. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. No se realizaron aplicaciones de fungicidas. Los genotipos estudiados fueron Puren-INIA, clones CIP Perú (301029.18 y 393077.54), y la variedad Bellini (testigo). Se evaluaron cuatro variables indicadoras de resistencia: área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC), área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (rAUDPC), tiempo de aparecimiento de síntomas (TAS), y valor en la escala de susceptibilidad (VES). Variables del comportamiento agronómico: rendimiento (kg.ha⁻¹), tubérculos/planta y análisis económico. Adicionalmente un análisis de correlación lineal de Pearson. Los clones 393077.54 y 301029.18 fueron los genotipos que mostraron mejor comportamiento en todas las variables, obteniendo resultados de AUDPC (18.83 y 665.7), rAUDPC (0.01 y 0.30), TAS (33 y 24.4), VES (0.08 y 2.81), rendimiento en kg.ha⁻¹ (12269.89 y 2789.87), tubérculos/planta (3.24 y 1.6), respectivamente, considerando estos genotipos como resistentes al ataque de tizón tardío. Entre las variedades, el genotipo Puren-INIA obtuvo mejor comportamiento que la variedad Bellini: AUDPC (1383.9 y 2134.8), rAUDPC (0.63 y 0.97), TAS (21.6 y 13.18), VES (5.83 y 9), rendimiento en kg.ha⁻¹ (588.07 y 0), tubérculos/planta (0.56 y 0), respectivamente, ratificando a Puren-INIA como tolerante y Bellini como susceptible al ataque de tizón tardío. La variable AUDPC se correlacionó de manera negativa y altamente significativa con las variables TAS y rendimiento (kg.ha⁻¹). Según la relación beneficio/costo estimada, ninguna de los genotipos se muestran rentables.

Palabras claves: *Solanum tuberosum*, *Phytophthora infestans*, AUDPC, rAUDPC, TAS, escala de susceptibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*) es el cultivo hortícola que más se produce a nivel mundial y cuarto cuando se incluyen los cereales, arroz, trigo y maíz (Theodoracopoulos *et al.* 2008).

En Honduras este cultivo está concentrado en los departamentos de Intibucá, Ocotepeque, La Paz y Francisco Morazán (Theodoracopoulos *et al.* 2008). Tiene un fuerte impacto social ya que da sostén a unos 4,000 productores y sus familias, genera unos 5,800 empleos permanentes y es la principal fuente de riqueza de las comunidades donde se desarrolla el cultivo (Toledo 2013).

La papa es atacada por un gran número de plagas y enfermedades. La enfermedad que causa un daño económico significativo, y por tanto considerada la más importante, es el tizón tardío (Acuña 2008), la cual es causada por el patógeno *Phytophthora infestans*.

Una de las condiciones necesarias, dentro del triángulo de la enfermedad, para que una enfermedad se desarrolle sobre un cultivo, es que este sea susceptible al ataque del patógeno (Riveros *et al.* s.f.). Por tanto el uso de materiales genéticos de papa que presenten resistencia o tolerancia a tizón tardío, es un método de manejo efectivo.

El propósito de la investigación planteada fue identificar un material o materiales genéticos resistentes o tolerantes a *P. infestans*, en la Estación Experimental Santa Cruz, ubicada en el municipio de Opatoro, La Paz, Honduras. Esto con el fin de reducir los daños causados por el patógeno en las plantaciones de papa y disminuir el alto uso de productos químicos para controlar la enfermedad, que mejorarán la rentabilidad del cultivo, y al mismo tiempo será amigable con el ambiente, al reducir la emanación de gases de efecto invernadero producidos por las aplicaciones de fungicidas.

II. OBJETIVOS

2.1. General

Evaluar la resistencia o tolerancia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*) de cuatro materiales genéticos de papa (*Solanum tuberosum*), bajo condiciones de campo en época lluviosa.

2.2. Específicos

Identificar el o los materiales genéticos de papa que presenta resistencia o tolerancia al ataque de *P. infestans*.

Comparar el nivel de severidad en el ataque del patógeno *P. infestans* entre los cuatro materiales genéticos de papa.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)

El tizón tardío es una enfermedad causada por el patógeno *P. infestans*. DICTA (2008) y Acuña (2008) afirman que, es la más seria y que más daño causa al cultivo de la papa. Afecta las hojas, los tallos y tubérculos y puede devastar un campo de papas en pocos días.

3.1.1. Taxonomía del patógeno *P. infestans*

El patógeno se ubica en el reino Chromista. Clase: Oomycetes. Orden: Peronosporales
Familia: Pythiaceae. Género: Phytophthora. Especie: *P. infestans* Mont. de Bary

El nombre de *P. infestans*, se deriva de las palabras griegas Phyto=planta, Phthora=destructor. (Pérez y Forbes 2008)

3.1.2. Morfología de *P. infestans*

El micelio es cenocítico, es decir no presenta septas o tabiques que separen el micelio; los esporangios son ovoides, elipsoidales a limoniformes, ahusados en la base, caducos, con un pedicelo menor de 3 mm y semipapilados. Su tamaño varía de 36 x 22 µm a 29 x 19 µm.

Los esporangióforos son de crecimiento continuo, con un pequeño hinchamiento justo debajo del esporangio (Pérez y Forbes 2008).

3.1.3. Ciclo de vida de *P. infestans*

- **Asexual**

Esta es la forma más común de reproducción y es por esporangios que son transmitidos por el viento y el agua. Puede vivir hasta una hora en condiciones secas y soleadas. Los esporangios germinan a unas horas después de caer en la hoja si hay humedad libre. Las lesiones son visibles a los 3-4 días después de la infección inicial. Una lesión individual puede producir de 100-300 mil esporangios por día y cada uno produce una nueva lesión (EDA 2008).

Las zoosporas se forman dentro del esporangio y son liberadas cuando se rompe la pared esporangial a nivel de su papila, lo cual permite a las zoosporas nadar libremente. Para esta acción las zoosporas cuentan con dos flagelos (Pérez y Forbes 2008).

- **Sexual**

Los gametangios se forman en dos hifas separadas, por lo que *P. infestans* es heterotálico. Así, ambos tipos de apareamiento A1 y A2, deben estar presentes para que ocurra la reproducción sexual. La unión de los gametos ocurre cuando el oogonio atraviesa el anteridio y ocurre la plasmogamia. Esto conduce a la fertilización y al desarrollo de una oospora con paredes celulares gruesas. La oospora es fuerte y puede sobrevivir en los rastrojos. Bajo condiciones favorables, la oospora produce un tubo germinativo que forma un esporangio apical, el cual puede liberar zoosporas o formar nuevamente un tubo germinativo, los cuales sirven como inóculo primario. (Pérez y Forbes, 2008)

Hasta donde se sabe, en Honduras sólo existe uno de los grupos, el A1, lo cual tiene implicaciones desde el punto de manejo de la enfermedad. La relevancia de la ocurrencia de oosporas es que se generan poblaciones de *P. infestans* que tienen mayor variación genética que las que ocurren con esporangios, poblaciones que son patogénicamente más

agresivas y lo cual conduce mayor riesgo de fallas en: la efectividad de los fungicidas aplicados para su combate y, la resistencia a la enfermedad de variedades que se creen hasta el momento supuestamente resistentes (Rivera *et al.* 2014).

3.1.4. Variabilidad genética

Las posibles fuentes de variación de *P. infestans* son reproducción sexual, mutación, recombinación mitótica, parasexualidad, migración y selección (Goodwin, citado por Alarcon *et al.* 2013).

La virulencia se refiere a la habilidad genética de una raza de *P. infestans* para vencer la resistencia del hospedante causando una reacción de compatibilidad, es decir se produce la enfermedad. Los genes de resistencia (genes R) codifican productos que identifican en forma específica a otros productos codificados por genes de avirulencia del patógeno. La pérdida o cambio del gen de avirulencia permite la compatibilidad (Pérez y Forbes 2008).

En contraste a la virulencia, la agresividad se refiere al grado de daño que causa un patógeno, por lo tanto un aislamiento agresivo causa más enfermedad. El tipo de cruzamiento viene a ser un tipo de compatibilidad necesario para iniciar la reproducción sexual en especies heterotálicas. El descubrimiento del tipo A2 fuera del valle de Toluca en México, considerado por la mayoría de los investigadores como el centro de origen del patógeno, fue la primera evidencia de cambios en la población de *P. infestans* a nivel mundial, el cuál era hasta ese entonces de origen asexual (Garay *et al.*; Grünwald *et al.*; Grünwald y Flier; Goodwin; citados por Alarcón *et al.* 2013).

3.1.5. Sintomatología

Hojas: en las hojas aparecen manchas de color verde claro y oscuro que se convierten en lesiones pardas o negras; estas lesiones se expanden a los tallos, que se debilitan y mueren. Estos síntomas se presentan inicialmente en los bordes y puntas de las hojas. Bajo

condiciones de alta humedad, se forman en el envés de las hojas unas vellosidades blanquecinas que constituyen las estructuras del patógeno. En el campo, las plantas severamente afectadas emiten un olor característico, debido a la rápida descomposición del tejido foliar (DICTA 2008).

Tallos y pecíolos: según Pérez y Forbes (2008), las lesiones son necróticas, alargadas de 5 a 10 cm de longitud, de color marrón a negro, generalmente ubicadas desde el tercio medio a la parte superior de la planta, presentan consistencia vítrea. Cuando la enfermedad alcanza todo el diámetro del tallo, éstas se quiebran fácilmente al paso de las personas, equipos agrícolas o de vientos fuertes. En condiciones de alta humedad también hay esporulación sobre estas lesiones pero no muy profusa como se presenta en las hojas.

Tubérculos: la infección del tubérculo se puede dar cuando el hongo es lavado de la superficie de la hoja al suelo vía lluvia o riego por aspersión. Los tubérculos afectados presentan áreas irregulares, ligeramente hundidas. La piel toma una coloración marrón rojiza. Al corte transversal se pueden observar unas prolongaciones delgadas que van desde la superficie externa hacia la médula a manera de clavijas. En estados avanzados se nota una pudrición de apariencia granular de color castaño oscuro a parduzco, en estas condiciones puede ocurrir una pudrición secundaria causada por otros hongos (*Fusarium* spp.) y bacterias (*Erwinia* spp y *Clostridium* spp) (EDA 2008).

3.1.6. Epifitiología

Según Rivera *et al.* (2014), arriba de 21 °C la germinación directa del esporangio provoca un solo punto de infección y obviamente una sola lesión; en contraste, abajo de 18 °C cada una de las 6-8 zoosporas liberadas por un esporangio son infectivas y potencialmente capaces de causar 6-8 infecciones separadas y el daño correspondiente. En estas condiciones un ciclo generacional de *P. infestans* puede ser tan breve como 3-5 días.

Rivera *et al.* 2014), confirman que, se puede generalizar que los ataques más severos de tizón tardío ocurren cuando las siguientes condiciones se presentan:

Temperaturas nocturnas. Ocurrencia de temperaturas medias sostenidas de 10-15 °C pero no inferiores a 8 °C. Esto favorece infecciones múltiples por zoosporas.

Temperaturas diurnas. Temperaturas medias del orden de 15-22 °C por varios días consecutivos favorecen el crecimiento del organismo en el interior del tejido, el desarrollo de las lesiones y la producción de esporangios.

Humedad persistente. Ocurrencia de períodos con humedad libre persistente sobre la hoja de seis o más horas, particularmente durante la mayor parte de la noche, favorecen la germinación y penetración del patógeno, provocando nuevas infecciones. Esta humedad relativa debe ser alta (mayor a 80%) (FAO s.f.).

3.2. Manejo del tizón tardío (*P. infestans*)

El tizón tardío debe controlarse satisfactoriamente mediante la combinación de varias medidas sanitarias, variedades resistentes y aspersiones con compuestos químicos aplicados en la temporada adecuada (Agrios 1985).

Según Rivera *et al.* (2014), la información generada por el Centro Internacional de la Papa (CIP, Perú) muestra que el desconocimiento por los agricultores de los aspectos básicos de la enfermedad es la principal limitante para la apropiada utilización de las estrategias para su manejo. Idealmente, el productor debería tener una serie de competencias que se necesitan para manejar apropiadamente el tizón tardío, a saber:

- a. Identificar correctamente la enfermedad.
- b. Como detectar su presencia en el campo.
- c. Conocimiento de la reacción de la variedad (resistente, susceptible, tolerante).

- d. Identificar correctamente las condiciones de clima favorables para ocurrencia de la enfermedad.
- e. Conocimiento básico del ciclo de vida del patógeno.
- f. Conocimiento de los fungicidas (modo de acción y condiciones para su aplicación optimizada).

El productor promedio de papa en Honduras tiene algún grado de competencia en los temas de los incisos a, b y c, y poco o ningún conocimiento de los incisos d, e y f. (Rivera *et al.* 2014)

3.2.1. Manejo integrado del tizón tardío (*P. infestans*)

Rivera *et al.* (2014) enumeran una serie de prácticas de manejo encaminadas a reducir el daño causado por *P. infestans*, entre las cuales están:

Eliminación de plantas voluntarias y malezas. Puesto que el patógeno puede sobrevivir en restos del cultivo anterior y de otros cultivos o malezas botánicamente afines a la papa, estos se deben eliminar para bajar la carga de inóculo primario disponible para infectar el nuevo cultivo.

Americanos (1996) enumera algunas malezas que atacan al cultivo, tales como: *Amaranthu shybridus* L., *Amaranthu sretroflexus* L., *Avena* spp., *Chenopodium álbum* L., *Chenopodium murale* L., *Malva nicaeensis* All., *Malva sylvestris* L., *Sinapis arvensis* L. y *Sonchus oleraceus* L. *Galium aparine* L., *Galium tricomutum* Dandy, *Fumaria officinalis* L. y *Fumaria parviflora* Lam.

Programación de siembra. Cuando ello sea posible, en áreas de producción estacional se debe cambiar la época de cultivo (especialmente campos donde se cultiva bajo riego) para evitar la época de mayor incidencia y severidad de la enfermedad.

Evitar sembrar con lluvia. La humedad producto de la lluvia favorece la infección temprana de los brotes recién germinados.

Modificar distanciamiento entre surcos y plantas. Se debe considerar ampliar las distancias para mejorar la exposición del follaje al viento y sol para reducir la humedad relativa y humedad libre sobre la hoja. La orientación de surcos en dirección paralela a la de los vientos dominantes también contribuye a la ventilación. Por otro lado, ampliar las distancias favorece que el chorro fungicida de las bombas de mochila alcance el interior de la planta y haya un control más efectivo de la enfermedad.

Nutrición balanceada. Se debe fertilizar en base a las necesidades indicadas por análisis de suelo. De particular interés es evitar dosis elevadas de nitrógeno pues este elemento induce exuberante crecimiento vegetativo y succulencia que favorecen el ataque de tizón tardío.

Sanitización. En parcelas pequeñas al detectar hojas individuales infectadas su eliminación manual inmediata ayuda a bajar la carga de inóculo secundario generada dentro del cultivo.

Manejo del riego. Debe evitarse riego aéreo dentro de lo posible pues, al igual que la lluvia, crea en el interior de la masa de hojas y la misma superficie de ellas las condiciones de humedad apropiadas para *P. infestans*. Si el riego aéreo fuera la opción disponible en la época seca, no se debe regar por las tardes pues ello favorecerá persistencia de humedad en las hojas por toda la noche. El riego por gravedad también puede favorecer la enfermedad si el drenaje de los excesos en los surcos es deficiente, pues crea un microclima favorable a la enfermedad.

3.2.2. Control químico

Según Thurston y Schultz, citados por Parker y Navia (1992), el método más eficaz de control es el químico, y según ingentes cantidades de fungicidas se aplican a la papa en

todo el mundo con el fin de protegerla contra *P. infestans*. En un cultivo susceptible, pueden ser necesarias hasta 15 aplicaciones por temporada, e incluso 15 a 20 aplicaciones en ciertas regiones, donde el ciclo vegetativo de las papas es largo y el clima es favorable para el desarrollo del patógeno.

Se pueden clasificar los productos usados para el manejo de tizón tardío en: fungicidas de contacto y fungicidas sistémicos. Los fungicidas de contacto, preventivos o residuales, actúan en la superficie de las hojas, evitan la germinación y penetración de los esporangios o de las zoosporas en los tejidos, disminuyendo el inoculo potencial. Solo protegen la zona donde se deposita el fungicida, por lo tanto, para que sean eficientes contra el tizón tardío tienen que cubrir necesariamente toda la superficie de la planta (Acuña 2008).

Los fungicidas sistémicos al ser aplicados al follaje, ingresan a los tejidos y se traslocan dentro de la planta. Su movilidad puede ser de distintas maneras. Según la movilidad tienen la capacidad de proteger las hojas producidas después de la aplicación. Inhiben algunas o varias etapas específicas del metabolismo del patógeno, por lo que su uso continuo puede generar la aparición de cepas de *P. infestans* resistentes a estos fungicidas. Es importante destacar que los fungicidas son más efectivos en la etapa de inicio de la infección, antes que los síntomas puedan ser vistos fácilmente (Acuña 2008).

3.2.3. Control genético

Consiste en utilizar la capacidad que tienen algunas variedades o especies vegetales para impedir el desarrollo de la enfermedad debido a sus características intrínsecas. La susceptibilidad del hospedante implica su incapacidad para defenderse del ataque del patógeno. Solo deben cultivarse las variedades de papa que sean más resistentes a la enfermedad. Muchas variedades de papa son resistentes a una o varias razas de *P. infestans*. Algunas de ellas son resistentes a la infección en los tallos, pero no a la infección en los tubérculos de papa (Agrios 1985).

El uso de materiales genéticos con resistencia y/o tolerancia al tizón tardío propone una manera eficaz para el manejo de dicha enfermedad, ya que al hacer uso de esta práctica se reduce el daño causado y sumado también disminuye el uso de productos químicos, aunque, afirma Agrios (1985) que, incluso a las variedades resistentes debe aplicárseles fungicidas con cierta regularidad a fin de eliminar tanto como sea posible el ataque por razas de *P. infestans* a las que no son resistentes, o bien por razas completamente nuevas.

3.3. Materiales genéticos bajo estudio

3.3.1. Puren-INIA

Kalazich *et al.* (s.f.) mencionan algunas características de la variedad Puren-INIA:

Morfología: la planta tiene un crecimiento semierecto, con follaje color verde oscuro, de tallos muy vigorosos. Periodo vegetativo tardío. Los tubérculos son ovales aplanados, de ojos superficiales, piel y pulpa blanca.

Características agronómicas: alto rendimiento (hasta 49 toneladas por hectárea). Alto porcentaje de materia seca.

Resistencia a factores bióticos: tiene moderada resistencia a la sarna común (*Streptomyces scabies*) y mediana susceptibilidad al virus del enrollamiento de las hojas (PLRV)

3.3.2. Bellini

NIVAP (2011) enumera las características de la variedad Bellini, las cuales son las siguientes:

Morfología: la planta es de alta a mediana; tallos semi-erguidos; hojas de color verde; inflorescencias de bastante numerosas a poco numerosas. En cuanto a los tubérculos, esto

son oval alargada de forma; piel amarilla; carne amarilla clara; ojos superficiales; puntas radicales poco numerosas.

Características agronómicas: tamaño de los tubérculos es grande. Posee rendimientos muy altos. El desarrollo del follaje es bueno. Y una mediana producción de materia seca.

Resistencia a factores bióticos: buena resistencia al virus X y al virus Yn. Presenta bastante sensibilidad a *Phytophthora* de la hoja. Es medianamente resistente a *Phytophthora* del tubérculo y a la sarna común.

3.3.3. Clon 301029.18

Las características del clon 301029.18 según CIP (s.f.a) son:

Morfología: color predominante de la piel: blanco-crema. Color predominante de pulpa del tubérculo: crema. Forma del tubérculo: oblongo. Profundidad de los ojos del tubérculo: superficial.

Características agronómicas: rendimiento de tubérculos (kg.planta^{-1}) es de 0.95. Y se adapta a trópicos bajos.

Resistencia a factores bióticos: resistente a tizón tardío. Susceptible al virus X de la papa (PVX). Resistencia extrema al virus Y de la papa (PVY).

3.3.4. Clon 393077.54

Las características del clon 393077.54 según CIP (s.f.b) son:

Morfología: color predominante de la piel: blanco-crema. Color predominante de pulpa del tubérculo: blanco. Forma del tubérculo: oblongo alargado. Profundidad de los ojos del tubérculo: superficial.

Características agronómicas: Rendimiento de tubérculos (kg.planta^{-1}): 0.83.
Adaptabilidad: trópicos altos.

Resistencia a factores bióticos: tizón tardío: resistente. El virus X de la papa (PVX): resistencia extrema. El virus Y de la papa (PVY): susceptible. El virus del enrollamiento de la hoja de papa (PLRV): altamente susceptible. Marchitez bacteriana (MB): moderadamente resistente. Nematodo del nódulo de la raíz (RKN): susceptible. Mosca minadora (LMF): altamente susceptible.

3.4. Aplicación de pesticidas y el cambio climático

Se llama cambio climático a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros meteorológicos: temperatura, presión atmosférica, precipitaciones, nubosidad. En teoría, son debidos tanto a causas naturales como antropogénicas (IDC 2013).).

El término suele usarse de forma poco apropiada, para hacer referencia tan solo a los cambios climáticos que suceden en el presente, utilizándolo como sinónimo de calentamiento global. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término cambio climático sólo para referirse al cambio por causas humanas: por “cambio climático” se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables (IDC 2013).

Una de las causas antropogénicas del calentamiento global, es el alto uso de plaguicidas durante la actividad agropecuaria. Los plaguicidas que son utilizados en suelos agrícolas y los residuos sólidos depositados a cielo abierto (incluso en los rellenos sanitarios

controlados) aumentan la emisión de óxido nítrico y óxido nitroso, así como de dióxido de carbono. El óxido nítrico es un gas que destruye la capa de ozono, lo cual permite que los rayos de sol ultravioleta emitidos por el sol lleguen a la tierra sin ningún filtro de por medio y causen problemas de salud a los seres humanos (Guzmán 2013).

Insecticidas, herbicidas, fungicidas y muchos otros plaguicidas se aplican intensamente en muchos países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo, lo que provoca la contaminación del agua, aire, suelo y alimentos con compuestos que afectan al ser humano y a muchas formas de vida silvestre. La contaminación por plaguicidas se produce cuando éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o también cuando los residuos de estos tóxicos se eliminan con la ayuda del agua o del viento al ser arrastrados de la superficie del suelo antes de que puedan ser absorbidos (Renjel 2008).

IV. MATERIALES Y MÉTODO

4.1. Descripción del lugar donde se realizó la investigación

El estudio se realizó entre los meses de Octubre a Diciembre de 2015 y Enero 2016, en una de las parcelas de campo de la Estación Experimental Santa Cruz, de SAG-DICTA, ubicado en la aldea de Santa Cruz, municipio de Opatoro, Departamento de La Paz, a 35 Km al sur-este de la ciudad de Marcala, La Paz, Honduras. Coordenadas de la parcela: 14°06'29.71"N y 87°56'01.66"O. Con una altitud de 1779 msnm (Fuente: Propia). Una temperatura promedio de 20 °C, y precipitación promedio anual de 2000 mm. (DICTA, citado por Mendez 2007)

4.2. Materiales y equipo

Se evaluaron cuatro materiales genéticos de papa, Puren-INIA, 393077.54 (clon CIP), 301029.18 (clon CIP), Bellini (testigo), 1000 tubérculos-semilla por cada material, insumos agrícolas (insecticidas, fertilizantes) bomba de mochila para el control de plagas, balanza graduada en libras, sacos o costales, cajas de plástico y/o madera.

4.3. Diseño y experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). El área experimental se dividió en cinco bloques y cada uno estuvo representado con cuatro tratamientos, para un total de 20 unidades experimentales. Cada unidad experimental midió 6 m de ancho y 7 m de largo para un área total de 42 m², y constó de siete surcos separados a 1 m. y 0.20 m. entre postura. El área útil estuvo constituida por los cinco surcos centrales, dejando en estos 1 m. sin evaluar en las partes frontal y posterior, logrando un área útil de 20 m² por parcela.

Cada bloque estuvo separado por 1 m. de distancia, logrando al final un área total del experimento de 952 m². En el Cuadro 1 se describen los tratamientos evaluados.

Cuadro 1. Descripción y aleatorización de los tratamientos evaluados.

No. Tratamiento	Materiales genéticos	Aleatorización				
		Bloque				
		I	II	III	IV	V
T1	Puren-INIA	102	204	302	401	503
T2	393077.54 (clon CIP)	101	202	304	404	502
T3	301029.18 (clon CIP)	103	201	301	402	504
T4	Bellini (testigo)	104	203	303	403	501

4.4. Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + t_i + bj + e_{ij} \quad \text{Para, } i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, b$$

Dónde:

Y_{ij} es el valor observado en el i-esimo tratamiento del j-esimo bloque;

μ es la media general, común a todas las observaciones;

t_i es el efecto del i-esimo tratamiento;

bj es el efecto del j-esimo bloque;

e_{ij} es el error aleatorio asociado a la observación Y_{ij} , tal que $e_{ij} \sim N(0; \sigma^2)$

(Santos y Silva 2009)

4.5. Manejo del experimento

4.5.1. Preparación del suelo

Se realizó un día antes de la siembra, de manera manual, haciendo uso de azadón se hicieron surcos, tratando de profundizar a 0.20 m, y siguiendo curvas a nivel. Y separando cada surco a 1.0 m de distancia

4.5.2. Siembra

Previo a la siembra se aplicó insecticida granulado Thimet 10 GR en los surcos, con dosis de 46 kg.ha^{-1} , para controlar la población de gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) en el suelo. Posteriormente se aplicó fertilizante granulado con dosis $186.35 \text{ kg.ha}^{-1}$ de N y $209.53 \text{ kg.ha}^{-1}$ de P. Después en los surcos se colocó la semilla de los materiales genéticos, cada uno en su respectiva unidad experimental, a una distancia de 1.0 m (distancia entre surcos), y 0.20 m de distancia entre plantas para obtener una densidad de $50,000 \text{ plantas.ha}^{-1}$ ($35,211 \text{ plantas.Mz}^{-1}$)

4.5.3. Fertilización

La primera fertilización se realizó previo a la siembra con fertilizante granulado con dosis $186.35 \text{ kg.ha}^{-1}$ de N y $209.53 \text{ kg.ha}^{-1}$ de P. Se realizó una segunda fertilización a los 27 días después de la siembra al momento del aporque, con fertilizante granulado formula $124.23 \text{ kg.ha}^{-1}$ de N, $109.32 \text{ kg.ha}^{-1}$ de P, y $103.11 \text{ kg.ha}^{-1}$ de K.

4.5.4. Control de plagas y enfermedades

Las enfermedades a controlar solo fueron las provocadas por bacterias y el control de insectos, ya que para el caso de enfermedades causadas por hongos, no se realizó aplicación de fungicidas. Las aplicaciones se realizaron dos veces por semana, alternando los productos a utilizar en cada aplicación.

Se usaron los siguientes plaguicidas: Bactericida Agri-gent (1.704 kg.ha^{-1}). Para el manejo de plagas insectiles en el follaje, tales como, palomilla de la papa (*Pthorimaea operculella*), psilido de la papa (*Bactericera cockerelli*), candidatus (*Liberibacter solanacearum*), mosca blanca (*Bemisia tabaci*), se utilizaron los insecticidas: Evisect (0.852 kg.ha^{-1}), Actara (0.852 kg.ha^{-1}), Muralla (1 L.ha^{-1}), Mitac20EC (2.13 L.ha^{-1}), Monarca (1.42 L.ha^{-1}), Plural

(1.065 L.ha⁻¹), Movento (2.13 L.ha⁻¹), Al momento de la siembra se aplicó el insecticida Thimet 10 Gr (46 kg.ha⁻¹). Se usaron adherentes y reguladores de pH en cada aplicación.

4.5.5. Control de malezas

Se realizó de forma manual usando azadón, al momento de la preparación del suelo y al momento del aporque.

4.5.6. Cosecha

Como actividad previa se realizó la defoliación de la planta a los 83 DDS (20 días antes de la cosecha). En este tiempo la mayoría de las plantas ya habían alcanzado el 100% de daño por *P. infestans*.

La cosecha se realizó de forma manual haciendo uso del azadón. Se cosecharon las plantas del área útil de cada unidad experimental, y del resto del tratamiento de manera separada.

4.6. Variables evaluadas

4.6.1. Días a floración

Se contaron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas del área útil de cada tratamiento presentaron floración.

4.6.2. Tiempo de aparecimiento de síntomas (TAS)

Se realizaron revisiones periódicas y se contaron los días desde el momento de la siembra hasta la aparición de los primeros síntomas de la enfermedad en las plantas del área útil..

4.6.3. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC)

Después de la aparición de los primeros síntomas se realizaron toma de datos cada siete u ocho días hasta que el genotipo más susceptible alcanzó el 100% de daño por el patógeno, y se anotaron los porcentajes de daño en cada uno, usando la escala propuesta por Henfling, citado por Barquero *et al.* (2005) (Cuadro 2). Se asignó un valor porcentual según el daño causado a cada una de las unidades experimentales, estos datos fueron copiados a una hoja electrónica para su análisis.

Cuadro 2. Escala de severidad de tizón tardío (*P. infestans*).

Grado	% de tejido afectado	Síntomas
1	0	No se observa tizón
2	0-5	Máximo 10 lesiones / planta.
3	5-15	Plantas sanas, área foliar afectada (20 foliolos).
4	15-45	Mayoría plantas afectadas, 25% follaje destruido (fd).
5	45-65	Parcela se ve verde, hojas inferiores muertas, 50% fd.
6	65-85	Parcela se ve verde, con manchas pardas, 75% fd.
7	85-95	Solo hojas superiores están verdes, tallos con lesiones.
8	95-100	Parcela se ve parda, mayoría tallos afectados o muertos.
9	100	Tallos y hojas muertos.

Para calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE o AUDPC por sus siglas en inglés) se utilizó la fórmula propuesta por Shaner y Finney, citado por Carrasco *et al.* (1997):

$$AUDPC = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{X_{i+1} + X_i}{2} \right) (T_{i+1} - T_i) \right]$$

Donde:

X_i = Proporción de tejido afectado en la observación

$\frac{X_{i+1}+X_i}{2}$ = Promedio de la proporción de tejido afectado entre dos lecturas consecutivas

$(T_{i+1}-T_i)$ = Tiempo en días entre dos lecturas consecutivas

n = Número total de observaciones

4.6.4. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (rAUDPC)

El AUDPC calculada para cada genotipo se dividió entre el potencial AUDPC máximo. El máximo AUDPC potencial es el AUDPC que tendría un genotipo si tuviera 100% de infección en todas las lecturas (Forbes *et al.* 2014). El rAUDPC se calculó dividiendo el AUDPC entre el número total de días comprendido entre la primera y última evaluación por 100.

$$rAUDPC = \frac{AUDPC}{[Ultima\ evaluacion\ (días) - Primera\ evaluación\ (días)] \times 100}$$

4.6.5. Escala de susceptibilidad a *P. infestans*

Para el cálculo de esta variable se usó el método sugerido por Yuen y Forbes, citado por Andrade (2010). A la variedad susceptible se le asignó un valor de 9 como valor de referencia (S_y). Se utilizó la siguiente formula:

$$S_x = S_y \frac{D_x}{D_y}$$

Donde:

Sx: Valor de la escala para el genotipo objetivo,

Sy: valor de la escala para la variedad susceptible estándar,

Dx: AUDPC observado para el genotipo objetivo,

Dy: AUDPC observado para la variedad susceptible estándar.

4.6.6. Numero de tubérculos por planta

Se obtuvo dividiendo el número de tubérculos cosechados en el área útil entre el número de plantas sembradas en la misma.

4.6.7. Rendimiento total en kg.ha⁻¹

Se pesó el total de tubérculos cosechados en el área útil y luego se ajustaron a hectáreas mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Rendimiento(kg/ha)} = \frac{\text{peso tuberculos(kg)} \times \text{área útil}}{\text{área útil (m}^2\text{)}} \times \frac{10\,000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}}$$

4.7. Análisis estadístico

Los datos que se obtuvieron se sometieron a un análisis de varianza (ANAVA) al 5% ($\alpha=0.05$) de significancia. Se aplicó la prueba de medias Duncan en aquellos parámetros de medida que presentaron significancia estadística al realizar el análisis de varianza.

Adicionalmente se realizó un análisis de correlación lineal de Pearson para comparar cada una de las variables estimadas y su asociación a la variable AUDPC.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Días a floración

La etapa plena de la floración se considera cuando el 50% de las flores están abiertas (Agusti 2004). Ninguno de los materiales genéticos alcanzó plena floración, debido al daño foliar provocado por el tizón tardío. El clon 301029.18 (T3) tuvo una ligera diferencia, que logró alcanzar un 15% de floración a los 49 días después de la siembra, que posterior a ello, las abortó, debido al daño de *P. infestans*.

Uno de los factores importantes por el cual se presenta el aborto de flores, es el ataque de algún patógeno a la planta, este puede atacar tallos y hojas, o también al pedúnculo o la estructura floral misma. Al suceder esto, la flor es privada de nutrientes y agua y por tanto abortará (Marlow 2009)

5.2. Tiempo de aparecimiento de síntomas (TAS)

Según análisis estadístico, se observa una diferencia altamente significativa ($p < 0.001$) en cuanto al número de días en los cuales se presentaron los primeros síntomas de la enfermedad (Cuadro 3). Y según el análisis de medias Duncan ($\alpha = 0.05$) (Cuadro 4) se observa que el clon 301029.18 (T3) fue el material con mayores días para el aparecimiento de síntomas (TAS=33), y la variedad Bellini en la que tardó menos (TAS=13) (Figura 1).

.

Las diferencias en días en el TAS de los materiales genéticos bajo estudio fueron de 20 días. Diferencias similares fueron encontradas en experimentos realizado por Arellano *et al.* (2013), en donde evalúan la resistencia a *P. infestans* de *S. lycopersicum*, y concluyen que los genotipos evaluados difieren de hasta diez días en el TAS.

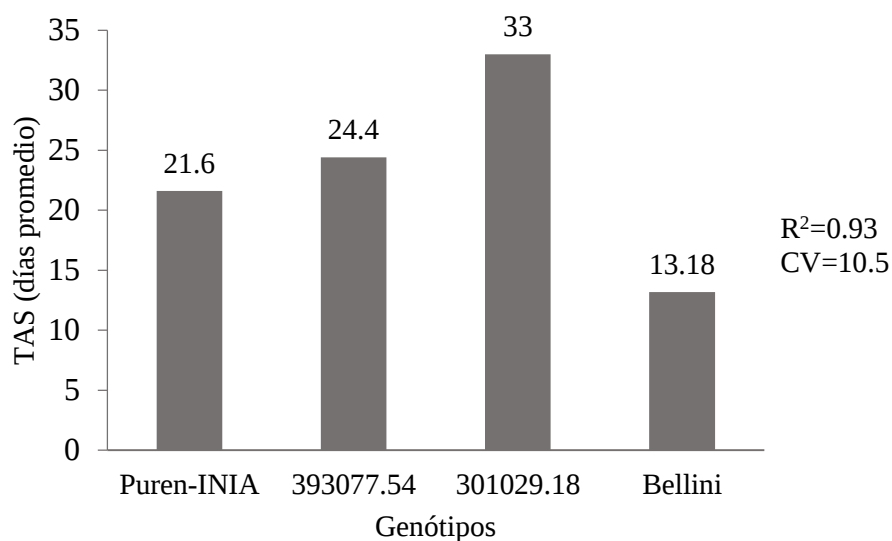


Figura 1. Tiempo de apareamiento de síntomas (TAS), para los materiales genéticos evaluados

Lemus (2009), concluye que, la diferencia existente entre el TAS de cada genotipo, es un indicativo de la presencia de genes de resistencia en las plantas, estos provocan un retardo en el desarrollo de cada uno de los loci de infección de la planta, y por lo tanto, retrasa la propagación de la enfermedad y el desarrollo de epifitias en el campo.

5.3. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC)

El área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC), en los diferentes materiales genéticos, presentó una diferencia altamente significativa ($p<0.001$) según el análisis de varianza realizado (Cuadro 3). Los clones pre-descriptos como resistentes por CIP (s.f.), mostraron un valor más bajo del AUDPC en comparación con las variedades. En el Cuadro

4 se presentan las medias para la variable AUDPC para cada genotipo, y en la Figura 2 se observa la diferencia del comportamiento.

Resultados similares fueron encontrados por Barquero *et al.* (2006), que evaluaron la resistencia a *P. infestans* en clones promisorios de papa, y compararon clones y variedades, que demostraron una alta diferencia entre el comportamiento superior de los clones, con respecto a las variedades.

Cuadro 3. Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza y significancia estadística para los cuatro materiales genéticos evaluados.

FV	GL	CM AUDPC	CM rAUDPC	CM TAS	CM Rendimiento (kg.ha-1)	CM Tuberculos/planta
Bloque	4	14365.98 ^{NS}	0.0031 ^{NS}	8.80 ^{NS}	1847193.38 ^{NS}	0.05 ^{NS}
Genotipo	3	4165459.50**	0.86**	314.00**	162409323.84**	10.14**
Error	12	7997.36	0.0017	6	1338826.84	0.06
Total	19					
R ²		0.99	0.99	0.93	0.97	0.98
CV (%)		8.51	8.71	10.56	29.56	18.63

FV=fuente de variación; GL=grados de libertad; NS=no significativo; **=diferencia altamente significativa (p<0.01); CV=coeficiente de variación

Las condiciones de humedad predominantes durante el ciclo del cultivo favoreció el desarrollo de la enfermedad (FAO, s.f.; Rivera *et al.* 2014), y que *P. infestans* provocara daños en el área foliar de todos los materiales genéticos evaluados. El daño fue mayor en las variedades Puren-INIA y Bellini, de los cuales Kalazich *et al.* (s.f.), y NIVAP (2011), no relatan sobre algún tipo de resistencia de estas, contra el ataque del tizón tardío.

Cuadro 4. Medias de cinco variables de los materiales genéticos evaluados.

Material genético	AUDPC	rAUDPC	TAS	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Tubérculos/planta
Puren-INIA	1383.9 C	0.63 C	21.6 B	588.07 C	0.56 C
393077.54	665.7 B	0.30 B	24.4 B	2789.87 B	1.6 B
301029.18	18.83 A	0.01 A	33 A	12269.89 A	3.24 A
Bellini	2134.8 D	0.97 D	13.18 C	0 C	0 D

AUDPC=Área bajo la curva del progreso de la enfermedad, rAUDPC=Área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa, TAS= Tiempo de aparición de síntomas. Medias con letras iguales, no difieren según prueba de Duncan ($\alpha \leq 0.05$)

El material genético con AUDPC más bajo fue el clon 301029.18 (T3), seguido del clon 393077.54 (T2), con unidades de 18.83 y 665.7, respectivamente. En cambio las variedades presentaron un valor de AUDPC más elevado, la variedad Bellini con 2134.80, observándose en esta que alcanzó el 100% de daño a los 48 días después de la siembra (Figura 3). La variedad Puren-INIA tiene un valor de 1383.90 (Figura 2).

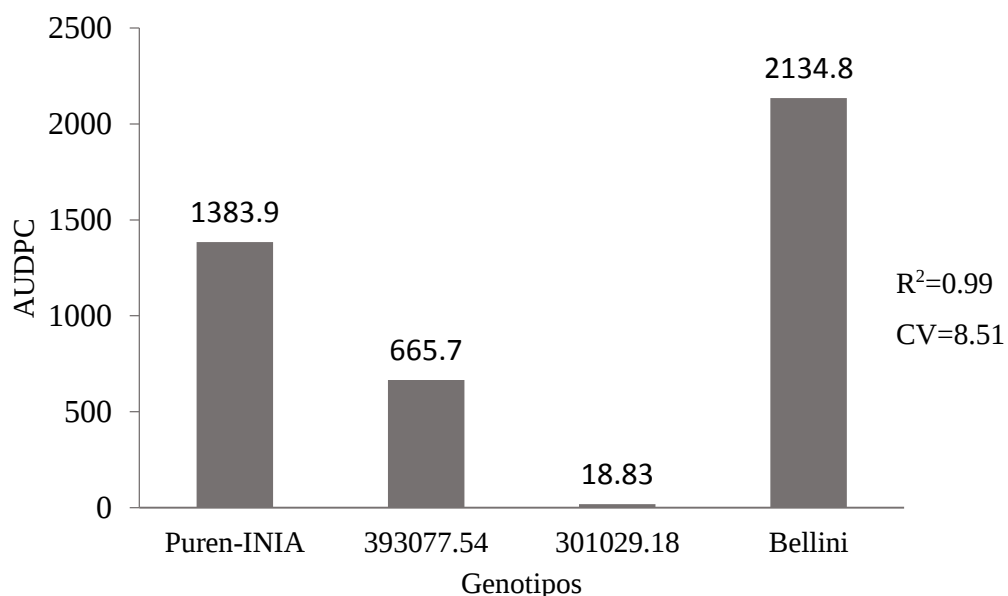


Figura 2. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC) para cada uno de los materiales genéticos evaluados.

En la Figura 3 se observa cómo se desarrolló la enfermedad, durante el ciclo del cultivo, representada por el porcentaje de daño en cada medición. Se puede observar claramente la diferencia en el avance de la enfermedad en cada uno de los materiales genéticos, en donde la variedad Bellini alcanza el 100% de daño de manera temprana. El avance progresivo de la enfermedad, casi lineal, en la variedad Puren-INIA. Y el desarrollo lento en el clon 3393077.54 (T2), y el avance casi nulo en el clon 301029.18 (T3) en los primeros 48 días, aunque después hubo un aumento considerable..

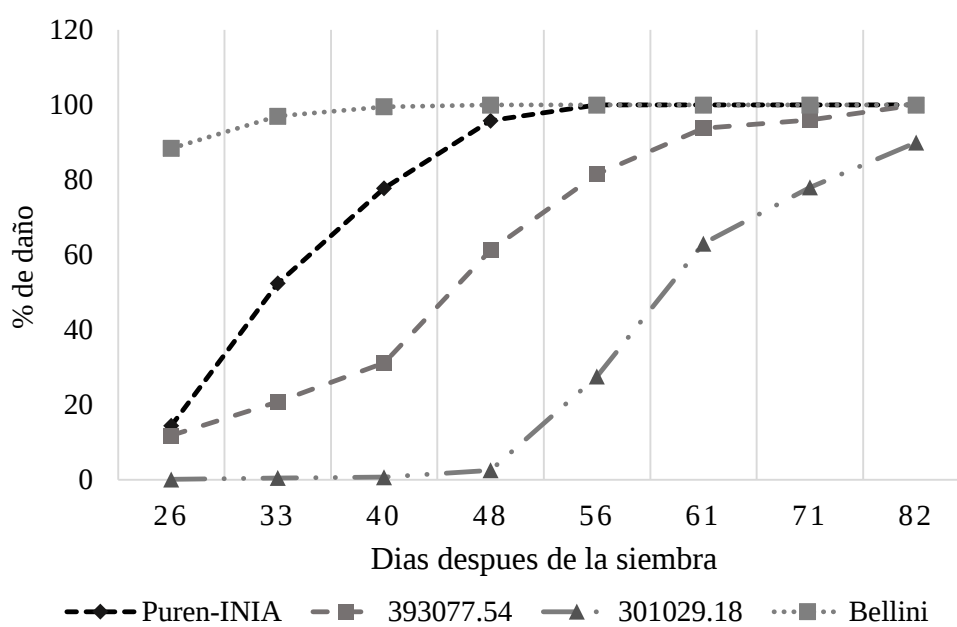


Figura 3. Curva de progreso de la enfermedad de los genotipos bajo estudio.

Aunque las unidades de AUDPC no son fácilmente interpretadas (Andrade, 2010), se observa que la variedad Puren-INIA obtuvo aproximadamente la mitad del valor de la variedad Bellini, indicando un mejor comportamiento en cuanto a la tolerancia al tizón tardío. Como lo consigna CIP (2010) el AUDPC es una variable que calcula el área bajo la curva de infección real. Cuanto más alto es el AUDPC, más susceptible es la variedad.

5.4. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (rAUDPC)

El área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (rAUDPC) indica que una evaluación del 100% del área foliar enferma por el tizón tardío tendría un valor de 1.0. Todos los valores de rAUDPC son expresados como proporción de este valor. Valores bajos de rAUDPC indicarán niveles bajos de infección durante el periodo de evaluación, por lo tanto corresponderán a genotipos más resistentes (Perez y Forbes 2008). Los días en que la variedad Bellini alcanzó el 100% de daño se tomaron de referencia para calcular el rAUDPC de los demás genotipos, pues es considerada el genotipo susceptible.

El rAUDPC presentó una diferencia altamente significativa ($p < 0.001$), según el análisis estadístico realizado (Cuadro 3). En la Figura 4 se observa el comportamiento de cada variedad en cuanto a su rAUDPC.

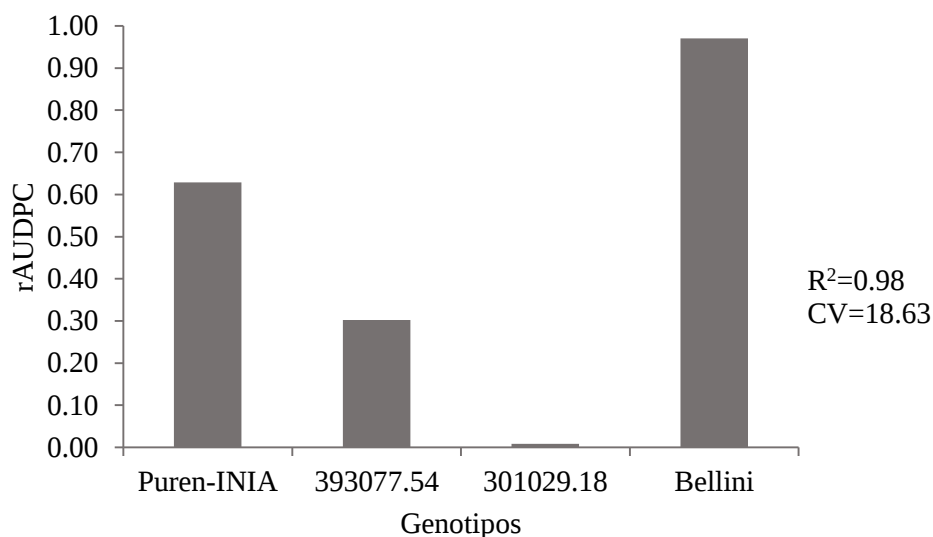


Figura 4. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (rAUDPC) para los cuatro materiales genéticos evaluados.

El rAUDPC para la variedad Bellini es 0.97, cercano a la unidad lo que apoya el comportamiento susceptible al ataque de la enfermedad del genotipo. Para la variedad Puren-INIA, puede observarse un comportamiento aceptable en cuanto a su rAUDPC,

demostrando la posible existencia de genes que presentan un grado bajo de resistencia contra la enfermedad. Los clones 301029.18 (T3) y 393077.54 (T2), obtuvieron un rAUDPC cercano a cero, 0.01 y 0.30 respectivamente (Cuadro 4), apoyando la existencia de genes de resistencia en estos dos materiales genéticos tal como lo indica CIP (s.f.).

5.5. Escala de susceptibilidad a *P. infestans*.

Se asignó al genotipo susceptible un valor en la escala de susceptibilidad de 8 o 9 (Forbes *et al.* 2014). La variedad Bellini se consideró el genotipo susceptible, pues alcanzó el 100% de daño en un tiempo corto, y no hay registros que indiquen su resistencia a *P. infestans* (NIVAP 2011). Por tanto se asignó a Bellini el valor de 9 para realizar el cálculo del valor en la escala de susceptibilidad de los demás genotipos.

Para el análisis de la variable escala de susceptibilidad, se consideró que los genotipos más cercanos a cero son resistentes, y en cambio, los más cercanos a 10 se consideran como susceptibles (Andrade *et al.* 2010).

Los valores obtenidos en la escala de susceptibilidad se muestran en el Cuadro 5. Los genotipos 301029.18 (T3) y 393077.54 (T2), obtuvieron valores 0.08 y 2.81, respectivamente, la variedad Puren-INIA obtuvo un valor intermedio de 5.83, y el valor de la escala para Bellini antes descrito es 9.

Cuadro 5. Valores de la escala de susceptibilidad a *P. infestans* de los materiales genéticos bajo estudio.

Material genético	AUDPC	rAUDPC	VES
Puren-INIA	1383.9	0.63	5.83
393077.54	665.7	0.30	2.81
301029.18	18.83	0.01	0.08
Bellini	2134.8	0.97	9

AUDPC=Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad,

rAUDPC= Área Bajo la Curva del Progreso de la enfermedad relativa

VES=Valor en la escala de susceptibilidad

Taípe *et al.* (2013) realizaron un estudio en el que calculan la escala de susceptibilidad a *P. infestans* de genotipos de papa en la cual concluyen que las variedades cultivadas que se encuentran entre 0 y 3 indica que su cultivo puede realizarse sin mayores contratiempos. Las variedades encontradas en el rango entre 4-8 deben cultivarse con ayuda de algún medio de control de la enfermedad (uso de fungicidas, sitios y épocas menos ideales para tizón tardío). Y las variedades cuya escala de susceptibilidad es mayor a ocho el riesgo de pérdida total del cultivo son altísimas.

5.6. Numero de tubérculos por planta

Se encontró diferencia altamente significativa ($p < 0.001$) entre los cuatro materiales genéticos, según el análisis de varianza aplicado (Cuadro 3). El clon 301029.18 (T3), mostró mejor promedio, con 3.24 tubérculos por planta. Y la variedad Bellini en la que menor tubérculos por planta presentó (Cuadro 4). Observando claramente que al poseer un porcentaje de infección bajo, el desarrollo foliar fue mejor en el clon 301029.18 (T3), y por tanto le da la oportunidad a la planta de poder obtener un mejor desarrollo de tubérculos (Acuña y Tejeda 2015). La Figura 5 muestra las medias para la variable tubérculos por planta para cada genotipo.

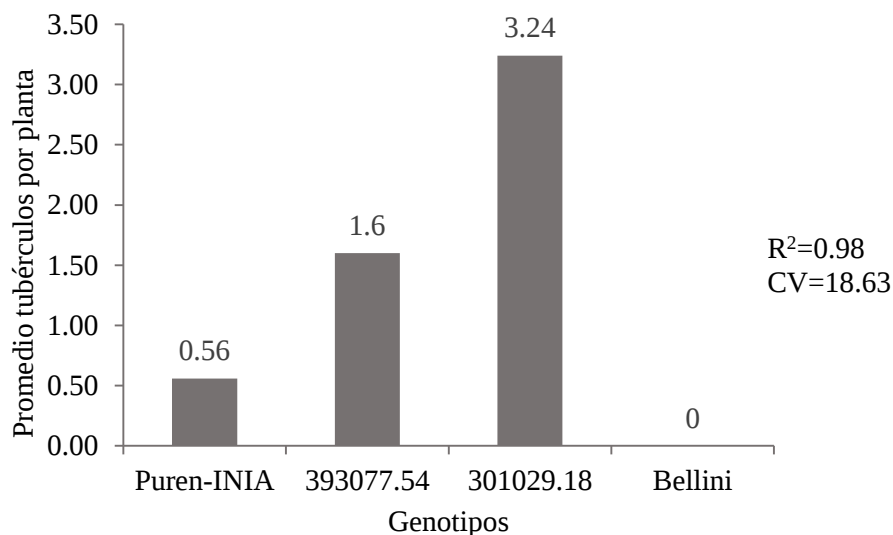


Figura 5. Promedio tubérculos por planta para los cuatro materiales genéticos evaluados.

En la variedad Bellini, el porcentaje de daño del 100% lo alcanzó bastante temprano en el ciclo de vida (48 días después de la siembra). En esta etapa del cultivo empieza la tuberización y posteriormente el llenado del tubérculo (Flores *et al.* 2014), y por lo tanto se ven afectados los parámetros de rendimiento como la producción de tubérculos por planta. En la variedad Puren-INIA el desarrollo de la enfermedad fue más lento, por tanto dio oportunidad a la planta de empezar el proceso de tuberización, aunque la cantidad de tubérculos por planta es bajo (Cuadro 4).

5.7. Rendimiento total en kg.ha^{-1}

La variable rendimiento, mostró diferencia altamente significativa ($p<0.001$) según análisis de varianza (Cuadro 3). El material con mayor rendimiento fue el clon 301029.18, seguido del clon 393077.54, con un rendimiento promedio de 12269 .89 kg.ha^{-1} y 2798.87 kg.ha^{-1} , respectivamente (Figura 6). Puren-INIA presentó 588.07 kg.ha^{-1} , y en el caso de Bellini, el rendimiento fue cero, a causa del daño temprano de todo el follaje (Flores *et al.* 2014). En el Cuadro 4 se muestran las medias para cada genotipo para la variable rendimiento.

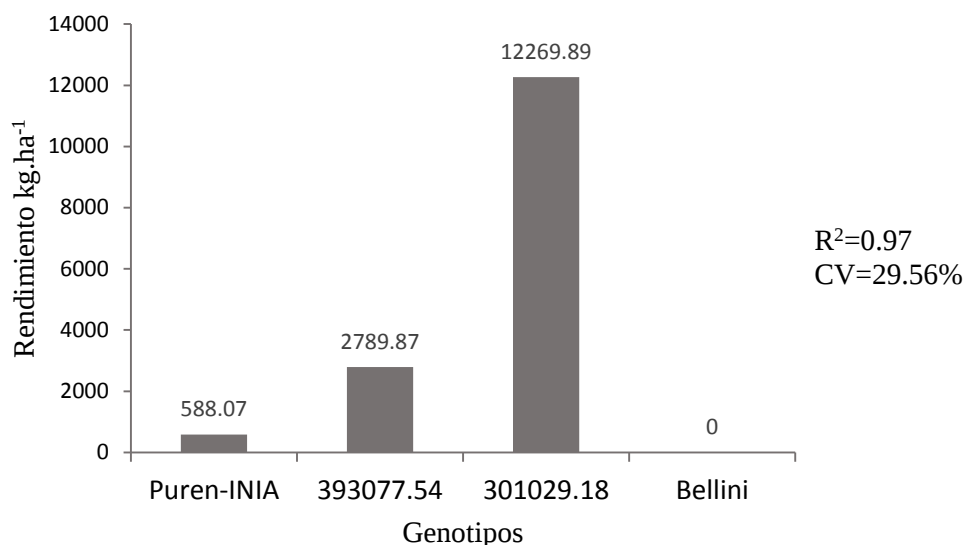


Figura 6. Rendimiento promedio en kg.ha⁻¹ para los cuatro materiales genéticos evaluados.

Resultados similares han sido encontrados por Carrasco *et al.* (1997). En los que los clones que evalúan los autores, son bastante superiores al testigo. Estos autores concluyen que la resistencia observada en follaje debe ser confirmada con los rendimientos obtenidos. Y estas características sirven para proceder a la selección de aquellos materiales sobresalientes en todos los aspectos.

CIP (s.f.) muestra que el rendimiento promedio en kg.planta⁻¹ para los clones 301029.18 y 393077.54, es de 0.95 y 0.83, respectivamente. Los rendimientos por hectárea que alcanzan estos genotipos considerando 50000 plantas.ha⁻¹, son de 47500 kg.ha⁻¹ y 41500 kg.ha⁻¹, respectivamente. Según Kalazich *et al.* (s.f.), la variedad Puren-INIA ha alcanzado rendimientos de hasta 49000 kg.ha⁻¹, y Toledo (2012), encontró rendimientos en la variedad Bellini de 32000 kg.ha⁻¹. Los rendimientos mostrados por estos autores fueron obtenidos con un manejo completo del cultivo.

Los rendimientos obtenidos en la investigación son menores que los encontrados por los autores antes mencionados. Estos rendimientos bajos se deben a varios factores, tales como, la severidad del ataque de tizón tardío sobre los genotipos (Mendez y Gaeta s.f.), y la siembra de los materiales genéticos en surcos y no en camas (Toledo 2012)

5.8. Análisis de correlación lineal de Pearson

La variable AUDPC presentó correlaciones positivas y altamente significativas con la variable rAUDPC, esto es claro pues mientras más elevados son los valores del AUDPC por un mayor daño de tizón tardío, mayor es el área afectada en función de la unidad que representa la rAUDPC.

El AUDPC presentó correlación negativa y altamente significativa con las variables TAS y rendimiento (Cuadro 6), indicando de esta manera que cuando los síntomas de la enfermedad aparecen más temprano en el ciclo del cultivo, mayor será el avance de la enfermedad, haciendo mayor el área dañada de la planta, y por consiguiente el rendimiento se ve afectado, porque al existir mayor área dañada de la planta, la tasa fotosintética disminuye, disminuyendo la acumulación de reservas en el tubérculo, y que la planta redirige su prioridad a poder sobrevivir al ataque de la enfermedad (Pineda, 2011).

Cuadro 6. Coeficiente de correlación lineal de Pearson y nivel de significancia de las variables evaluadas en los materiales genéticos de papa.

	TAS	AUDPC	rAUDPC	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)
AUDPC	-0.932 0.000			
rAUDPC	-0.932 0.000	1.000 *		
Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	0.879 0.000	-0.842 0.000	-0.842 0.000	
Tuberculos por planta	0.913 0.000	-0.947 0.000	-0.947 0.000	0.944 0.000

Contenido de la celda: Coeficiente de correlación lineal de Pearson

Valor P

AUDPC=Area bajo la curva del progreso de la enfermedad, rAUDPC=Area bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa, TAS= Tiempo de aparición de síntomas

Los coeficientes de correlación y significancia son iguales a los encontrados por Arellano *et al.* (2013) al estudiar el ataque de *P. infestans* en poblaciones silvestres de tomate (*S. lycopersicum*) demostrando de esta forma el comportamiento similar de las plantas en contra del ataque de algún patógeno. Experimento realizado en clones de papa por Zuñiga (2000), muestran de igual manera resultados similares en los coeficientes de correlación entre las variables.

VI. CONCLUSIONES

Los materiales genéticos 301029.18 y 393077.54, mostraron los mejores resultados para todas las variables evaluadas y que son indicadoras de resistencia, tales como AUDPC, rAUDPC, TAS, y el valor en la escala de susceptibilidad. Aun cuando los clones muestran resistencia los rendimientos fueron bajos comparados con los mostrados por otros autores.

El comportamiento desfavorable para las variables indicadoras de resistencia, de las variedades Puren-INIA y Bellini, ayuda a considerarlas como, genotipo susceptible a Bellini, y a Puren-INIA con un nivel bajo de tolerancia al ataque de *P. infestans*.

Entre los genotipos evaluados, los clones se muestran con mejor comportamiento, con respecto a la severidad del ataque de *P. infestans*, sobre las variedades estudiadas.

Las condiciones climáticas durante el ciclo biológico de la panta fueron favorables para el desarrollo de la enfermedad en el cultivo, permitiéndole al patógeno alcanzar una alta severidad y provocando bajos rendimientos de todos los materiales genéticos bajo estudio.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar la misma investigación, en la misma estación lluviosa, para comparar los resultados obtenidos, con esta investigación.

Evaluar la resistencia a tizón tardío de estos mismos materiales genéticos de papa, pero en época de verano, para comparar el comportamiento de los genotipos en las dos estaciones predominantes en el país.

Evaluar la resistencia al tizón tardío, realizando la inoculación del patógeno en las plantas de papa. La inoculación debe hacerse después de que se forma rocío, después de una lluvia, o después de un periodo largo de riego por aspersión, para asegurar que el inoculo no se seque.

Realizar investigación similar tomando en cuenta la aplicación de un fungicida luego de haber emergido aproximadamente el 90 % de las plantas, con *Mancozeb*, en una dosis de 30 g/l, con el fin de uniformizar los tratamientos antes del inicio del ataque de tizón tardío (

Realizar investigación con los mismos materiales genéticos, tomando en cuenta aplicaciones de fungicidas durante el ciclo del cultivo, a diferentes tiempos de aplicación, o reduciendo la cantidad de aplicaciones en comparación con las realizadas por los productores de papa del país.

BIBLIOGRAFÍA

Acuña, I. 2008. Manejo integrado de tizon tardío y estrategias de control químico. Boletín informativo N° 62 . Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA, CH). 4 pág.

Acuña, I; Tejeda, P. 2015. Manejo integrado de enfermedades (en línea). Consultado 20 jun 2016. Disponible en <http://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&ctn=66>

Agustí, M. 2004. Fruticultura. Madrid: Mundi Prensa Libros.

Agrios, GN. 1985. Fitopatología. Editorial Limusa. México.

Alarcón, N; Lozoya, H; Valadez, E; Garcia, M; Colinas, M. 2013. Diversidad genética del tizón tardío de la papa [*Phytophthora infestans* (Mont) de Bary] en Chapingo, México. Consultado 14 sep. 2015. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952013000600006&script=sci_arttext

Americanos, PG. 1996. Manejo de malezas en raíces y tubérculos. In Labrada, R; Caseley, JC; Parker, C. Manejo de malezas para países en desarrollo. Estudio FAO producción y protección vegetal.

Arellano, LJ; Rodríguez, E; Ron, J; Martínez, JL; Lozoya, H; Sánchez, J; Lépiz, R. 2013. Evaluación de resistencia a *Phytophthora infestans* en poblaciones silvestres de *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*. Revista Mexicana de Ciencia Agrícolas. Vol 4 (5). p. 753-766.

Barquero, M; Gomez, L; Breens, A. 2005. Resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en clones promisorios de papa en Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. (CIA).

Carrasco, E; Estrada, N; Gabriel, J; Alfaro, G; Larondelle, Y; García, W; Quiroga, O. 1997. Seis cultivares potenciales de papa con resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en Bolivia. (en línea) Consultado 12 ago. 2015. Disponible en <http://www.papaslatinas.org/v9-10n1p106.pdf>

CIP (Centro Internacional de la papa). 2010. Procedimientos para pruebas de evaluación estándar de clones avanzados de papa. Guía para Cooperadores Internacionales. International Potato Center, Lima, Perú. 48-52 p.

_____. **s.f.a.** Catálogo de clones avanzados del CIP: CIP301029.18-C01.030 (en línea) Consultado 14 ago. 2015. Disponible en <https://research.cip.cgiar.org/redlatinpapa/libraries/reporte/file.php?id=301029.18>

_____. **s.f.b.** Catálogo de clones avanzados del CIP: CIP393077.54 (en línea) Consultado 14 ago. 2015. Disponible en [https://research.cip.cgiar.org/redlatinpapa/libraries/reporte /file.php?id=393077.54](https://research.cip.cgiar.org/redlatinpapa/libraries/reporte/file.php?id=393077.54)

DICTA (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria). 2008. El cultivo de la papa (en línea). HN. Consultado 12 ago 2015. Disponible en. <http://www.dicta.hn/files/Guia-El-Cultivo-de-la-papa,-2008.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2008. La papa (en línea) IT. Consultado 24 jul. 2015. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0500s/i0500s02.pdf>

Flores M, H. Flores G, H. Ojeda B, W. 2014. Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol 37 (2): 149-157

Guzmán Aguilar, F. 2013. Más gases de efecto invernadero por uso de plaguicidas (en línea). Consultado 15 Mayo 2016. Disponible en: <http://archivo.eluniversal.com.mx/cultura/72094.html>

ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2011. Manejo fitosanitario del cultivo de la papa. Medidas para la temporada invernal. (en línea). Consultado 12 ago. 2015. Disponible en [http://www.ica.gov.co/getattachment/b2645c33-d4b4-4d9d-84ac197c55e7d3d0/Manejo fitosanitario-del-cultivo-de-la-papa-;-.aspx](http://www.ica.gov.co/getattachment/b2645c33-d4b4-4d9d-84ac197c55e7d3d0/Manejo_fitosanitario-del-cultivo-de-la-papa-;-.aspx)

IDC (Instituto de Desarrollo Comunitario). 2013. Cambio climático (en línea). Consultado 26 jun 2016. Disponible en: http://www.idcnacional.org/?option=com_content&view=article&id=1141:cambio-climatico&catid=48:palabras-clave-de-la-union-europea&Itemid=201

Kalazich, JC; Rojas, JS; Lopez, H; Barrientos, C; Uribe, M; Rios, J; Winkler, A; Catalan, P; Inostroza, J. 2000. Pukara INIA, variedad de papa para el cultivo de primores. (en línea) Consultado 6 ago. 2015. Disponible en <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR25754.pdf>

Lemus, IY. 2009. Genética de la resistencia a las enfermedades en plantas hortícolas. Temas de Ciencia y Tecnología. 39(13):41-44.

Marlow, D. 2009. Consejos para prevención de aborto de flores. (en línea). Consultado 21 jul. Disponible en <http://www.hortalizas.com/miscelaneos/consejos-para-prevencion-de-aborto-de-flores/>

Mendez G, DC. 2007. Produccion de semilla pre-basica de papa (*Solanum tuberosum*) mediante técnicas de multiplicación acelerada de esquejes juveniles y laterales. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Olancho, Honduras. 62 p.

Mendez L, P; Gaete, N. s.f. Principales enfermedades que afectan al cultivo de papa. Instituto Nacional de Innovacion Agraria (INIA) CL. 34 p.

NIVAP (Netherlands Potato Consultative Foundation). 2011. Catalogo Holandés de variedades de patata de 2011. (en línea) Consultado 8 ago. 2015. Disponible en http://www.potato.nl/es/sobre_patatas/cat%e1logo_de_siembra/ras?frm_variety=27

Parker, J; Navia, O. 1992. Estrategias de control químico del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) de la papa. Consultado 13 sep. 2015. Disponible en <http://www.papaslatinas.org/v4n1p115.pdf>

Perches, S. y Galindo, J. s.f. Supervivencia del *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary, causante del tizón tardío de la papa y jitomate (en línea). Consultado 12 ago. 2015. Disponible en http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/1795/Agraciencia%20v1n2_1967_92-98.pdf?sequence=1

Pérez, W; Forbes, G. 2008. El tizon tardío de la papa, manual tecnico (en línea) Centro Internacional de la Papa (CIP) PE. Consultado 12 ago. 2015. Disponible en <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/004271.pdf>

Renjel, S. 2008. Los plaguicidas y su contribución al cambio climático (en línea). Consutado 10 Mayo 2016. Disponible en: <http://plaguicidas-y-alternativas.org/noticias/2008-04-07-los-plaguicidas-y-su-contribuci%C3%B3n-al-cambio-clim%C3%A1tico>

Rivera, JM; Brown, JK; Weller, S; Melgar, JC. 2014. Consideraciones técnicas para el efectivo manejo integrado del tizón tardío en papa. FHIA (Fundación Hondureña de

Investigación Agrícola, HN), USAID (Agencia de Los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional)

Riveros B, F; Vergara G, J; Aguirre B, R. s.f. Fitopatología: estudio de las enfermedades de las plantas. INIA (Institute de Investigaciones Agropecuarias. CH). 1 pág.

Santos D, LA dos; Silva B, W. 2009. Biometría experimental (En portugués). Suprema. Viçosa, BR. pág 234.

Theodoracopoulos, M; Arias, S; Ávila, H. 2008. Manual de producción de papa (en línea). EDA (Entrenamiento y Desarrollo de Agricultores) La Lima, Cortes, HN. Consultado 29 jul. 2015. Disponible en http://www.mcahonduras.hn/documentos/PublicacionesEDA/Manuales%20de%20produccion/EDA Manual_Produccion_Papa_09_08.pdf

Toledo, M, 2012. Informe de investigaciones en el cultivo de la papa desarrolladas en el 2011. Programa Nacional de papa, La esperanza Intibucá, Honduras. Secretaria de Agricultura y Ganaderia (SAG), Direccion de Ciencia y Tecnologia Agropecuaria (DICTA). 35 p.

_____. **2013.** El cultivo de la papa en Honduras (en línea). La Esperanza, Intibucá, HN. DICTA (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, HN). Consultado 16 jul. 2015. Disponible en <http://www.dicta.hn/files/Guia-El-cultivo-de-la-papa-en-Honduras,-2011.pdf>

Zúñiga, LN; Molina, JD; Cadena, MA; Rivera, A. 2000. Resistencia al Tizón Tardío de la Papa (*Phytophthora infestans*) en Cruzamientos de Cultivares y Clones de Papa (*Solanum tuberosum*L.) (en línea). Consultado 8 ago. 2015. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/612/61218101.pdf>