

**CRIA OCCIDENTE  
CADENA DE PAPA**

**Rendimiento de cultivares promisorios de papa con forma oblonga y con tolerancia a *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en diferentes ambientes de producción de papa en el altiplano occidental de Guatemala.**

**Osman Cifuentes  
Aroldo García  
Eleonora Ramírez  
Joel López  
Peter Joyce**

**Guatemala, Julio de 2018**



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

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

## Contenido

<b>Tema</b>	<b>Pagina</b>
Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
Marco Teórico	9
Objetivos	14
Hipótesis	14
Metodología	15
Resultados	18
Rendimiento de Tuberculos	18
Resistencia a Phytophthora infestans	21
Conclusiones	27
Recomendaciones	27
Referencias Bibliográficas	28

## Siglas y Acrónimos

CIALO	Centro de investigación del altiplano Occidental
CUSAM	Centro Universitario de San Marcos
CRIA	Consortios regionales de investigación Agropecuaria
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas
IICA	Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América
USPB	USA Potato Board

**Rendimiento de cultivares promisorios de papa con forma oblonga y con tolerancia a *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en diferentes ambientes de producción de papa en el altiplano occidental de Guatemala.**

**Resumen**

Osman Cifuentes<sup>1</sup>; Aroldo García<sup>2</sup>; Eleonora Ramírez <sup>3</sup>, Joel Lopez<sup>4</sup>, Peter Joyce<sup>5</sup>

Una de las plagas de mayor incidencia mundial de la papa, ha sido la enfermedad conocida como tizón tardío de la papa producido por *Phytophthora infestans*( Mont) de Bary, actualmente clasificada en el Reino crhomista, Clase Oomycetes. En Guatemala la importancia de esta enfermedad, se debe a que la mayor parte de la producción de papa en el país se realiza con la variedad Loman., que por su susceptibilidad a la misma, para el manejo agronómico de la enfermedad, se realiza a base de control químico, lo cual ocasiona altos costos de producción. Por ello ICTA y otras instituciones han investigado tener otra variedad de papa que cumpla con las características comerciales de la variedad Loman y que presente tolerancia a la enfermedad del tizón tardío. Sin embargo, ninguna de las iniciativas ha tenido éxito, ya que las variedades generadas no cumplen con alguno de los requisitos mínimos que el comprador exige, y por ello las nuevas variedades tienen una demanda mínima en el mercado nacional. Por esta razón con el apoyo financiero del programa CRIA, en el año 2016 y 2017 ICTA y otras instituciones, establecieron experimentos en los departamentos de Huehuetenango, Quetzaltenango y San Marcos, en donde se tuvo como objetivo: Identificar alguna variedad de papa, que por su rendimiento, forma oblonga y tolerancia a P. Infestans fuera superior a la variedad Loman. Los resultados indican que las variedades Jacqueline Lee y Defender presentan rendimientos superiores a las demás variedades evaluadas y la más alta tolerancia al tizón tardío, así como también presentan tuberculos de forma oblonga alargada como la requieren los agricultores para su venta el mercado nacional.

- 
- (1) Coordinador del Programa de Hortalizas del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA)
  - (2) Investigador del Programa de Hortalizas del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA)
  - (3) Investigadora Asociada de la Disciplina de Biotecnología, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA)
  - (4) Investigador Auxiliar, USAC CUSAM
  - (5) Consultor Consejo de la papa de los Estados Unidos. (USPB)

## ABSTRACT

One of the increased global incidence of potato pests, has been disease known as late blight of potato produced by *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary , currently rated in the United crhomista, class Oomycetes. In Guatemala the importance of this disease, due to most of the potato production in the country is performed with the variety Loman., made by its susceptibility to it, for the agronomical management of disease, based on chemical control which results in high production costs. ICTA and other institutions have investigated another variety of potato that meets the commercial characteristics of the variety Loman and to present the late blight disease tolerance. However, none of the initiatives has been successful, since generated varieties do not meet any of the minimum requirements demanded by the purchaser, and thus new varieties have a minimal demand in the domestic market. In 2016 and 2017 ICTA and other institutions, set up experiments in the departments of Huehuetenango, Quetzaltenango, and San Marcos, where had as objective: identify any variety of potato, for his yield, oblong shape and tolerance to P. Infestans was superior to the variety Loman. The results indicate that Jacqueline Lee and Defender varieties have yields above the other evaluated varieties and higher tolerance to late blight, as well as tubers they also have elongated oblong as requires it the farmers for sale domestically.

## 1. Introducción

En Guatemala la mayor parte de la producción de Papa se encuentra en los departamentos de Huehuetenango, San Marcos y Quetzaltenango. En esta región la agricultura se caracteriza por ser una agricultura de subsistencia, en donde prevalece el hambre, la desnutrición, el bajo desarrollo rural y el analfabetismo.

El cultivo de la papa, ha sido desde 1950 un cultivo que además de generar alimento localmente, es uno de los pocos cultivos que genera ingresos económicos a la familia rural. Estos ingresos son los que sirven a la familia para proveerse de alimentos fuera de los producidos en la finca, así como para proveer educación, medicinas y ropa a la familia.

La variedad de papa que mayormente es sembrada en Guatemala es la variedad Loman, variedad que fue introducida en 1962 y gracias a sus características agronómicas y gastronómicas se ganó la aceptación del mercado de Guatemala y El Salvador.

La mayor parte de la producción de papa en Guatemala se realiza con la variedad Loman, que es un tubérculo que presenta alta calidad culinaria y es de forma oblonga. Sin embargo, agronómicamente es una variedad que representa altos costos de producción, principalmente para el manejo del hongo de tizón tardío (*P. infestans*).

Así mismo, el impacto ambiental que representa su siembra es alto, por su frecuente y continuó uso de fungicidas en su ciclo de producción. Por lo que desde hace años el ICTA y otras instituciones han intentado identificar otra variedad de papa que cumpla con las características comerciales de la variedad Loman y que presente cierta tolerancia a la enfermedad del tizón tardío. Sin embargo, ninguna de las iniciativas ha tenido éxito, ya que las variedades generadas por no cumplir con alguno de los requisitos mínimos que el comprador exige, su demanda ha sido mínima en el mercado nacional.

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA-, que es la institución nacional de investigación agropecuaria en Guatemala, ha introducido variedades mejoradas de papa, resistentes a *P. infestans*. Estos materiales han sido evaluados bajo las diversas condiciones climáticas en las diferentes zonas de producción de papa y se han mostrado exitosas, tanto en su adaptación, con la producción de altos rendimientos, así como también en su bajo costo de producción, al ser menores las aplicaciones de fungicidas que es necesario realizar en ellas.

El problema es que estos materiales no han sido aceptados en los mercados de Guatemala y tampoco en el mercado de El Salvador, porque no tienen la forma



oblonga. Por esta razón, los agricultores no han continuado sembrando estas variedades, por no contar con mercado para estas. La forma del tubérculo de la papa es una característica que define el éxito o fracaso que pueda tener una nueva variedad de papa en Guatemala.

Al disponer de una variedad de papa con las mismas características de forma y culinarias que la papa de la variedad Loman permitirá a los pequeños productores, disminuir dramáticamente sus costos de producción y obtener mayor beneficio económico de su única fuente de ingresos económicos y por lo tanto mejorar de una manera sostenida su alimentación.

## 2. Marco Teórico

### Taxonomía

La clasificación taxonómica del patógeno causante de la enfermedad del tizón tardío según Pérez y Forbes (2008) es:

Reino: Chromista  
Clase: Oomycete  
Género: Phytophthora  
Especie: Infestans  
Tipos: A1 y A2

### Importancia mundial.

El tizón tardío causado por *P. infestans*, es una de las enfermedades más importantes del cultivo de la papa a nivel mundial. Está presente en casi todas las áreas donde se cultiva papa en el mundo, provocando mayores pérdidas en zonas templadas y húmedas, puede matar una plantación en 7 - 10 días. También cabe destacar que el tizón tardío afecta a otros cultivos como tomate y algunas plantas de la familia de las solanáceas.

Esta patología fue la causante de una hambruna en Irlanda (1850), durante la cual millones de irlandeses murieron y otros se vieron forzados a emigrar. Cultivos enteros de papa se perdieron en el campo o en el sitio de almacenamiento. Esta enfermedad es causada por un hongo que sobrevive desde una estación hasta la otra en los tubérculos de papa infectados. El hongo es bien conocido por su habilidad para producir millones de esporas a partir de las plantas infectadas, bajo condiciones húmedas que favorecen su supervivencia. (Messiaen, 1995) (Pérez y Forbes, 2008)

En las últimas dos décadas, el tizón ha retomado mucho más interés en la producción de la papa en el mundo, debido a la rápida dispersión del grupo de apareamiento A2, el cual es más agresivo y resistente a metalaxil, el principal fungicida usado para el control. Este grupo estuvo reportado sólo en México hasta fines de la década del '80. Previamente sólo el grupo A1 estaba presente en el resto de los países.

La presencia del grupo A2 permite la reproducción sexual del hongo favoreciendo la sobrevivencia invernal de éste y una rápida distribución del carácter agresivo y resistente en las nuevas razas. El grupo A2 ha sido reportado en EEUU., Canadá, Europa, Asia y algunos países de Latinoamérica entre ellos Argentina y Perú. En Chile, este grupo aún no ha sido descrito. (Messiaen, 1995) (Pérez y Forbes 2008)

### Sintomatología

La enfermedad se presenta generalmente en la segunda parte del periodo vegetativo, bajo la forma de áreas descoloridas o acuosas sobre el follaje. Generalmente comienza atacando las hojas inferiores para después infectar las superiores. Con tiempo seco, las áreas citadas se ponen secas y café, disminuyendo la contaminación a las plantas sanas vecinas; pero con tiempo caluroso y húmedo, toda la plántula queda reducida a una masa marchita y erguida en pocos días, infectando rápidamente todo el cultivo.

La enfermedad puede identificarse fácilmente en su primera etapa, buscando en la cara inferior de las hojas infectadas donde se observa una florescencia blanquecina en el límite entre el tejido sano y el enfermo.

Los tubérculos infectados aparecen descoloridos, con áreas acuosas sobre piel bajo la cual la pulpa se pone esponjosa y de color café ferruginoso, hasta una profundidad variable. En el tubérculo no se forma eflorescencia blanca. Bajo condiciones de humedad las áreas muertas del tubérculo pueden ser invadidas por bacterias de putrefacción, que desarrollan una pudrición acuosa secundaria. . (Messiaen, 1995)

Síntomas con los cuales puede confundirse.

El hongo (*botrytis cinerea*), produce síntomas algo similares en la hoja, pero puede diferenciarse por el hecho de que las áreas enfermas están limitadas al ápice de la hoja, y el tejido muerto, tanto en la cara inferior como superior de la hoja, se cubre con la eflorescencia gris del botrytis.

En el tubérculo, el tizón puede confundirse con pudrición rosada( pinkrot), pudrición acuosa por daños (watery wound rot), nematosis, necrosis concéntrica, necrosis o moteado interno y casos severos de oospora pustulans. . (Messiaen, 1995)

### Ciclo y Epidemiología

Tipo de inóculo.

Inóculo primario:

El patógeno inverna como micelio en papas (tubérculos) que están infectados en la bodega o en el campo. El micelio crece causando el colapso celular.

Inóculo secundario:

Una vez que el micelio alcanza la parte aérea de la planta, produce las estructuras reproductivas (zoosporangios). Estas son dispersadas por el agua de lluvia y el viento, bajo condiciones húmedas, nuevos zoosporangios y zoosporas son formadas, con lo que una gran cantidad de nuevas infecciones o puede ser producidas en una estación de crecimiento. (Messiaen, 1995)

### **Formas de diseminación.**

La infección de las papas (tubérculos) comienza cuando las zoosporas son lavadas por la lluvia desde las hojas y caen al suelo, donde infectan los tubérculos por las lenticelas. Las zoosporas necesitan agua libre para su germinación y penetración

El patógeno inverna como micelio en tubérculos infectados en bodega o campo. El micelio crece alcanzando los brotes produciendo colapso celular. Cuando el micelio alcanza la parte aérea de la planta, produce las estructuras reproductivas (zoosporangios). Estas son dispersadas por el agua de la lluvia y del viento, depositándose en hojas de tallos húmedos, donde inician una nueva infección. Bajo condiciones húmedas, nuevos zoosporangios y zoosporas son formadas, lo que produce una gran cantidad de nuevas infecciones que pueden ser producidas en una estación de crecimiento.

La infección de los tubérculos comienza cuando las zoosporas son lavadas por la lluvia desde las hojas y caen al suelo, donde infectan los tubérculos por las lenticelas o heridas. Los tubérculos también pueden infectarse al momento de cosecha al tomar contacto con follaje enfermo o con tubérculos enfermos, durante la manipulación y selección de semillas. El desarrollo de epidemias de tizón tardío dependerá principalmente de las condiciones ambientales predominantes durante el cultivo. El hongo crece y esporula en humedades relativas cercanas al 100% y temperaturas entre los 15 y 25 grados °C. Las zoosporas necesitan agua libre para su germinación y penetración. Una vez que la infección se produce, la enfermedad se desarrolla más rápidamente a temperaturas de 21°C. (Messiaen, 1995)

Método de control genético:

Actualmente se desarrolla con el uso de la biotecnología y la manipulación de las plantas para una mayor resistencia genética como por ejemplo cutículas más gruesas

mayor pilocidad y se trabajan con plantas de mayor resistencia y se traspasa a la que tenga menos resistencia.

La uniformidad genética puede aumentar la vulnerabilidad de un cultivo a epidemias de plagas, ya que los patógenos evolucionan y el cultivo se queda fijo. Así, siempre se protagoniza una carrera contra el tiempo tratando de mantenerse adelante de la rápida evolución de las plagas. Para proteger sus cosechas, cada vez más los agricultores siembran varios cultivares en la misma área, de tal forma que la diversidad genética natural depende de diferentes individuos con alguna diferencia genética, lo cual permite a la población enfrentarse a la supervivencia. . (Messiaen, 1995)

En 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 (Bormann, 2004). 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 (Gebhard y Valkonen, 2001). 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). (Mosquera, 2007)

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* (Ellis *et al.*, 2000). Por ejemplo, la clonación del gen RPP13 de *Arabidopsis thaliana* de resistencia a *Peronospora parasítica*, reportado por Bittner *et al.* (2000), muestra tres especificidades identificadas en un *locus*, el cual parece ser un gen simple con múltiples alelos, muy variables, que están sujetos a selección diversificadora. Este es un mecanismo que, evolutivamente, conduce a que genes de resistencia se presenten concentrados en regiones de los cromosomas.

La resistencia cuantitativa, a diferencia de la cualitativa, es controlada por *loci* de rasgos cuantitativos (QTL) o por varios genes (Agrios, 2005; Collard *et al.*, 2005) 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 un cierto nivel de resistencia cuantitativa que responde a diferentes patógenos (no específicos). Este tipo de resistencia no es absoluta, sino que atenúa o

detiene el progreso de la enfermedad y puede ser afectada por cambios en el ambiente (Agrios, 2005). Gebhardt y Valkonen (2001) sugirieron que genes similares a los *R* pueden contribuir a la resistencia cuantitativa. En papa se ha encontrado que 18 QTL contribuyen a resistencia cuantitativa, aunque en cada caso sólo actúan entre uno y cuatro QTL. (Mosquera, 2007)

Recientemente, se está utilizando con éxito 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 QTL (Salvi y Tuberosa, 2005).

### **3. Objetivos:**

#### **Objetivo General**

Generar información que contribuya a la identificación de una variedad de papa de forma oblonga, de alto potencial de rendimiento, buenas características culinarias y con tolerancia a la infección de *Phytophthora infestans* (Mont) De Bary,

#### **Objetivos Específicos**

Identificar el genotipo de papa (*Solanum tuberosum* L) que presente el mayor rendimiento.

Determinar la resistencia a *P. infestans* de los distintos cultivares de papa.

Establecer la forma del tubérculo de las distintas variedades.

### **4. Hipótesis**

Ho Las variedades de papa de forma oblonga y tolerantes a *Phytophthora infestans* presentan un rendimiento similar.

Ho. Las variedades de papa no tienen resistencia a *Phytophthora infestans*.

## **5. Metodología**

### **Primera fase: Incremento de Semilla**

Localización:

Labor Ovalle, Quetzaltenango, San Marcos, Huehuetenango, Jalapa y San Jerónimo.

Época: Junio a Diciembre del 2017.

Procedimiento de incremento de semilla.

#### **MICROPROPAGACIÓN**

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

#### **ETAPA I. INICIO DE CULTIVO IN VITRO DE MICROESQUEJES**

Se obtienen los microesquejes bajo condiciones asépticas, los propágulos se colocan sobre la superficie del medio de cultivo previamente esterilizado y se trasladan al cuarto de crecimiento por 4 semanas. El medio de cultivo que se utiliza es Murashige y Skoog (MS). Las condiciones del cuarto de crecimiento son: Temperatura, 25 grados centígrados; fotoperíodo, 16 horas de luz y 8 de obscuridad.

#### **ETAPA II. MICROPROPAGACIÓN (MULTIPLICACIÓN MASIVA)**

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

#### **ETAPA III: ENRAIZAMIENTO IN VITRO**

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

#### **ETAPA IV: TRANSPLANTE Y ADAPTACIÓN A CONDICIONES DE INVERNADERO**

Cuando las plantas han alcanzado un tamaño de 4-6 cm y un buen desarrollo radicular, se realiza el transplante a sustrato. Para esto, se utiliza un sustrato de peatmoss,

distribuido en bandejas múltiples de 200 celdas, que se usan para semilleros. Se extraen cuidadosamente las vitroplantas de los recipientes de cultivo, se lava bien cualquier residuo de agar y se procede a plantar una vitroplanta en cada agujero. Se dejan bajo condiciones de invernadero durante 12 a 14 días, realizando riegos periódicos para mantener suficiente humedad y evitar la deshidratación de las plántulas. Pasado este período de adaptación se procede a realizar la siembra en el invernadero definitivo para la producción de minitubérculos.

#### ETAPA V PRODUCCION DE MINI TUBERCULOS E INCREMENTO DE SEMILLA BASICA.

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

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

**Segunda Fase:** Evaluación de variedades bajo condiciones de productores.

Época: Junio a Diciembre del 2017.

Diseño Experimental: Bloques completos al azar con siete tratamientos y tres repeticiones.

El modelo estadístico a utilizar es:

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

Siendo:

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

$\mu$  = Media general.

$T_i$  = Efecto del i-ésima variedad.

$\beta_j$  = Efecto de j-ésimo bloque.



$\epsilon_{ij}$  = Error experimental.

Replicas: Cuatro

Tratamientos:

Cal White, Defender,. Jaquelyn Lee, Alegría y Loman, Defender e ICTA Palestina, ICTA Firt.

Tamaño de la Unidad Experimental: 10.8 metros cuadrados.

Parcela Bruta: 40 plantas.

Parcela Neta: 16 plantas.

VARIABLES DE RESPUESTA:

Rendimiento.

Área bajo la curva (AUDCP) de progreso de la enfermedad.

Incidencia

Severidad

Análisis de la Información

Análisis Estadístico:

ANOVA

Prueba de Medias por DGC (Dirienzo, Guzmán y Casanoves).

Análisis de Correlación multivariada.

## 6. Resultados

### Rendimiento de tubérculos:

El efecto que tiene una infección de *P. infestans* sobre las plantas susceptibles de las diversas variedades de papa es la disminución drástica del rendimiento o la muerte total de la planta. Por esta razón la variable rendimiento se considera muy importante para medir la tolerancia de una variedad a las infecciones de esta enfermedad.

Por lo que en los siguientes cuadros se presentan análisis combinados de la respuesta de las variedades evaluadas a la infección de *P. infestans* por medio del rendimiento en las localidades de Huehuetenango, Quetzaltenango y San Marcos.

#### Cuadro No. 1

Análisis de Varianza Combinado del rendimiento de tubérculos de primera calidad (t/ha) en las localidades de Huehuetenango, San Marcos y Quetzaltenango.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2160,35	9	240,04	12,02	<0,0001
Localidad	1865,03	2	932,51	46,70	<0,0001
Variedades	240,05	5	48,01	2,40	0,0518
Repeticiones	55,28 2	27,64	1,38	0,2612	
Error	878,53	44	19,97		
Total	3038,89	53			

En el cuadro 1 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento de tubérculos de primera calidad. Esta categoría está definida por tubérculos superiores a los 12 centímetros de longitud. El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre localidades, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos una localidad proporciona condiciones diferentes para la respuesta en rendimiento de los diversos genotipos evaluados.

Con respecto a la variable Variedades no se encontró diferencia estadística en la respuesta en rendimiento de primera calidad, por lo que no se rechaza la hipótesis nula que establece que: Las variedades de papa de forma oblonga y tolerantes a *Phytophthora infestans* presentan un rendimiento similar.

#### Cuadro No. 2

Análisis de Discriminación de medias por el método DGC del rendimiento de tubérculos de primera calidad en las tres localidades evaluadas.

Localidad	Medias	n	E.E.	
Quetzaltenango.	17,00	18	1,05	A
Huehuetenango.	16,53	18	1,05	A
San Marcos.	4,31	18	1,05	B

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

En el cuadro número cuatro se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de dos grupos. El primer grupo y superior estadísticamente a la otra localidad está formado por la localidad de Quetzaltenango y Huehuetenango y el segundo grupo por la localidad de San Marcos.

Los análisis de segunda y tercera calidad del rendimiento de papa no mostraron diferencias estadísticas entre las variedades. Por lo que se procedió a estimar el análisis de rendimiento total, que incluye la suma de la primera, segunda y tercer categoría de tamaño de los tubérculos.

Cuadro No. 3

Análisis de Varianza Combinado del rendimiento total de tubérculos (t/ha) en las localidades de Huehuetenango, San Marcos y Quetzaltenango.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6714,08	9	746,01	22,56	<0,0001
Localidad	5935,21	2	2967,61	89,76	<0,0001
Variedades	760,80	5	152,16	4,60	0,0018
Repeticiones	18,07	2	9,03	0,27	0,7622
Error	1454,76	44	33,06		
Total	8168,84	53			

En el cuadro 3 se observa el ANDEVA realizado al rendimiento total de tubérculos. Esta categoría está definida por la suma de todas las categorías de tubérculos. El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre localidades y entre variedades, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos una localidad proporciona condiciones diferentes para la respuesta en rendimiento de los diversos genotipos evaluados.

Con respecto a la variable Variedades también se rechaza la hipótesis nula y se establece que al menos una variedad de papa de forma oblonga y tolerantes a *Phytophthora infestans* presentan un rendimiento diferente al resto de las variedades..

Cuadro No. 4

Análisis de Discriminación de medias por el método DGC del rendimiento total de tubérculos en las tres localidades evaluadas.

Localidad	Medias	n	E.E.	
1	45,01	18	1,36	A
3	30,67	18	1,36	B
2	19,39	18	1,36	C

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

En el cuadro número cinco se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de tres grupos. El primer grupo y superior estadísticamente a las otras localidades está formado por la localidad de Quetzaltenango, con un rendimiento medio de las variedades de 45 toneladas por hectárea en comparación al grupo 2, que está conformado por Huehuetenango con un rendimiento medio de las variedades de 30.67 toneladas por hectárea y como grupo diferente y con menor rendimiento total es la localidad de San Marcos, con un rendimiento medio de las variedades de 19.39 toneladas por hectárea.

Cuadro No.5

Análisis de Discriminación de medias por el método DGC del rendimiento total de tubérculos en las tres localidades evaluadas.

Variedades	Medias	n	E.E.	
J. Lee	38,33	9	1,92	A
Defender	33,54	9	1,92	B
Alegría	32,74	9	1,92	B
Loman	30,12	9	1,92	B
Yukón	28,59	9	1,92	B
Cal White	26,80	9	1,92	B

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

En el cuadro número cinco se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de dos grupos. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos está formado por la variedad Jacqueline Lee con un rendimiento medio en las tres localidades de 38.33 toneladas por hectárea y el segundo grupo está conformado por las variedades Defender, Alegría, Loman, Yukon y Cal White presentaron rendimientos entre 26.8 y 33.54 toneladas por hectárea, constituyéndose como un grupo estadísticamente similar.

La variedad Jacqueline Lee (J. Lee) mostro en las localidades de San Marcos, Huehuetenango y Quetzaltenango que es estadísticamente superior en rendimiento al testigo del productor (variedad Loman) por más de 8 toneladas por hectárea.

## Resistencia a *Phytophthora infestans* Incidencia y Severidad

Para la medición de la incidencia y severidad de *P. infestans* se establecieron dos ensayos diferentes a los de rendimiento. Se aplicó fungicida para el manejo de la infección hasta los 58 días después de la siembra. A partir de ese momento ya no se realizaron aplicaciones de fungicida y se tomaron tres lecturas a los 72, 79 y 86 días después de la siembra. La incidencia fue tomada en base al número de hojas compuestas sanas por planta en relación al número de hojas compuestas con un síntoma de infección. A los datos obtenidos por ser una variable no continua se les practicó una transformación por medio del análisis de la raíz cuadrada del valor no continuo.

### Cuadro No. 6

Análisis de Varianza de la incidencia de *Phytophthora infestans* en los genotipos evaluados a los 72 días después de la siembra.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	26193,87	8	3274,23	13,51	0,0001
Variedades	26130,14	6	4355,02	17,97	<0,0001
Repeticiones	63,73	2	31,87	0,13	0,8780
Error	2908,42	12	242,37		
Total	29102,29	20			

En el cuadro 6 se observa el ANDEVA realizado a la incidencia de *Phytophthora infestans* en los genotipos evaluados a los 72 días después de la siembra.

El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre variedades, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos una variedad de papa presentan una incidencia a *P. infestans* diferente al resto de las variedades.

### Cuadro No.7

Análisis de Discriminación de medias por el método DGC de la incidencia de *Phytophthora infestans* en los genotipos evaluados a los 72 días después de la siembra.

Variedades	Medias	n	E.E.
Alegria	100,00	3	8,99
ICTA Palestina	100,00	3	8,99
Loman	93,89	3	8,99
Cal White	81,11	3	8,99
J. Lee	38,89	3	8,99
Defender	22,22	3	8,99

Yukon Gem 13,44 3 8,99 B

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

En el cuadro número siete se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de dos grupos. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos en cuanto a incidencia a la infección a *P. infestans* está formado por las variedades Alegría, ICTA Palestina, Loman y Cal White, que a los 72 días ya presentaron una incidencia superior al 80% y en el caso de las variedades Alegría e ICTA Palestina una incidencia del 100 %. El segundo grupo está conformado por las variedades Defender, J. Lee y Yukon Gem con una incidencia inferior al 40 %.

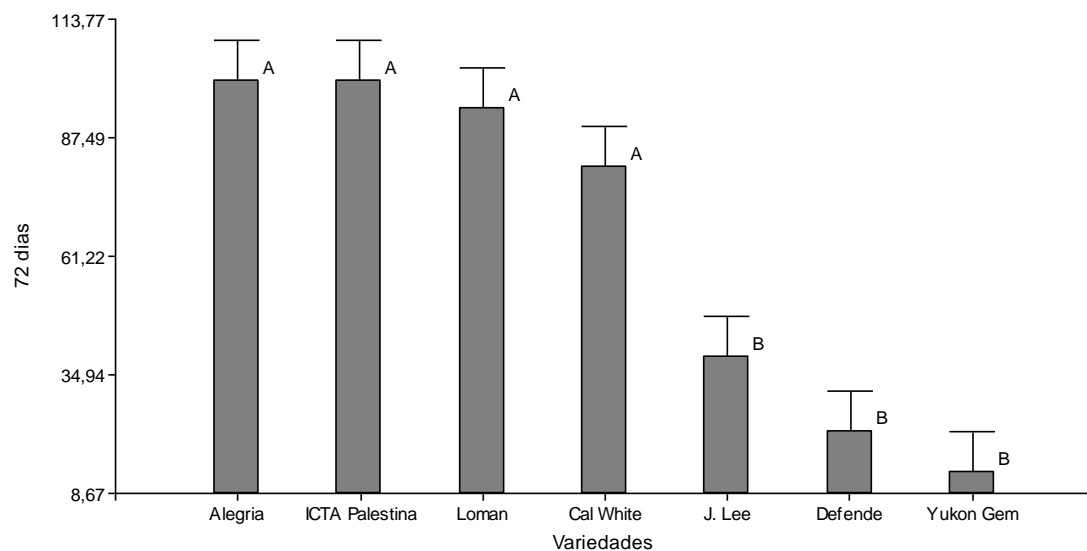


Figura 1: Análisis de Discriminación de medias por el método DGC de la incidencia de *Phytophthora infestans* en los genotipos evaluados a los 72 días después de la siembra

En la figura 1 se puede observar que todas las variedades mostraron incidencia a la enfermedad a los 72 días después de la siembra, por lo se evidencia que ninguna de las variedades posee inmunidad o resistencia a *p. infestans*

#### Cuadro No. 8

Análisis de Varianza de la incidencia de *Phytophthora infestans* en los genotipos evaluados a los 79 días después de la siembra.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	19172,03	8	2396,50	27,78	<0,0001
Variedades	18851,94	6	3141,99	36,43	<0,0001
Repeticiones	320,09	2	160,05	1,86	0,1986

Error	1035,08	12	86,26
Total	20207,12	20	

En el cuadro 8 se observa el ANDEVA realizado a la incidencia de *Phytophthora infestans* en los genotipos evaluados a los 79 días después de la siembra.

El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre variedades, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos una variedad de papa presentan una incidencia a *P. infestans* diferente al resto de las variedades esta etapa del ciclo del cultivo.

#### Cuadro No.9

Análisis de Discriminación de medias por el método DGC de la incidencia de *Phytophthora infestans* en los genotipos evaluados a los 72 días después de la siembra.

Variedades	Medias	n	E.E.	
Loman	100,00	3	5,36	A
ICTA Palestina	100,00	3	5,36	A
Alegria	100,00	3	5,36	A
Cal White	100,00	3	5,36	A
J. Lee	54,67	3	5,36	B
Defender	43,00	3	5,36	B
Yukon Gem	26,56	3	5,36	C

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

En el cuadro número nueve se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de tres grupos. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos en cuanto a incidencia a la infección a *P. infestans* está formado por las variedades Alegria, ICTA Palestina, Loman y Cal White, que a los 79 días ya presentaron una incidencia del 100%. El segundo grupo está conformado por las variedades Defender, J. Lee con incidencia cercana al 50% y un tercer grupo formado por la variedad Yukon Gem con una incidencia inferior al 30%.

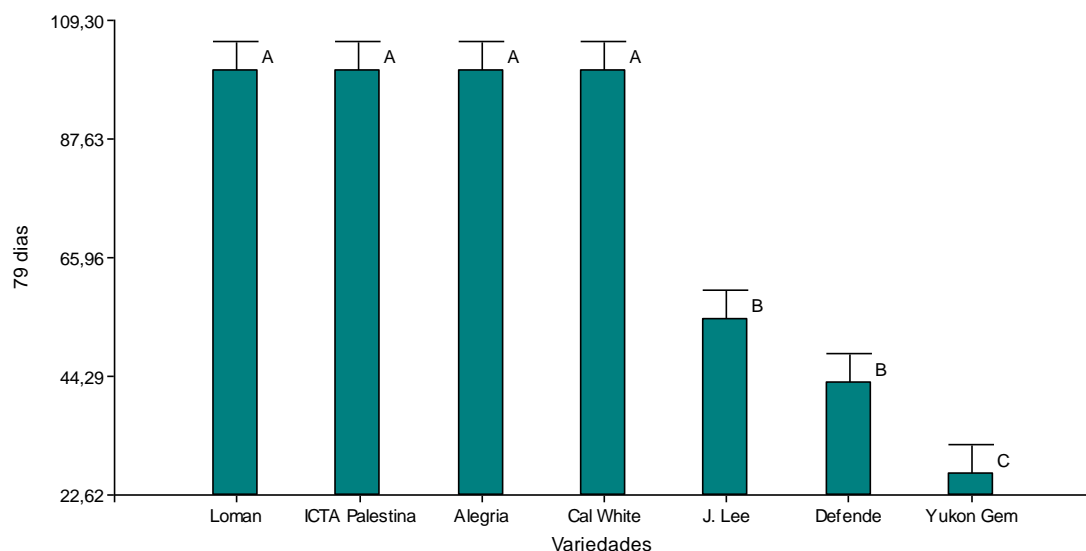


Figura 2: Análisis de Discriminación de medias por el método DGC de la incidencia de Phytophthora infestans en los genotipos evaluados a los 79 días después de la siembra

En la figura 2 se puede observar que las variedades Loman, Alegría, ICTA Palestina y Cal White mostraron incidencia del 100 % a la enfermedad a los 79 días después de la siembra, por lo se evidencia que estas variedad son muy susceptibles a la infección de P. infenstans.

Cuadro No. 10

Análisis de Varianza de la incidencia de Phytophthora infestans en los genotipos evaluados a los 86 días después de la siembra.

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12963,73	8	1620,47	15,16	<0,0001
Varietades	12621,33	6	2103,55	19,67	<0,0001
Repeticiones	342,40	2	171,20	1,60	0,2419
Error	1283,00	12	106,92		
<b>Total</b>	<b>14246,73</b>	<b>20</b>			

En el cuadro 10 se observa el ANDEVA realizado a la incidencia de Phytophthora infestans en los genotipos evaluados a los 86 días después de la siembra.

El análisis indica que existió diferencia altamente significativa entre variedades, por lo que se rechaza la hipótesis nula planteada en esta investigación y se establece que al menos una variedad de papa presentan una incidencia a P. infestans diferente al resto de las variedades esta etapa del ciclo del cultivo.



Cuadro No.11

Análisis de Discriminación de medias por el método DGC de la incidencia de *Phytophthora infestans* en los genotipos evaluados a los 86 días después de la siembra.

Variedades	Medias	n	E.E.	
Loman	100,00	3	5,97	A
ICTA Palestina	100,00	3	5,97	A
Cal White	100,00	3	5,97	A
Alegría	100,00	3	5,97	A
J. Lee	67,67	3	5,97	B
Defender	53,89	3	5,97	B
Yukon Gem	37,89	3	5,97	C

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

En el cuadro número once se presentan los resultados del análisis de discriminación de medias (0.01) en el cual se puede observar la formación de tres grupos. Con una tendencia igual al de la lectura a los 79 días después de la siembra. El primer grupo y superior estadísticamente al resto de los genotipos en cuanto a incidencia a la infección a *P. infestans* está formado por las variedades Alegría, ICTA Palestina, Loman y Cal White, que a los 86 días presentaron una incidencia del 100%. El segundo grupo está conformado por las variedades Defender, J. Lee con incidencia cercana entre el 50 y 68 % y un tercer grupo formado por la variedad Yukon Gem con una incidencia inferior al 40 %.

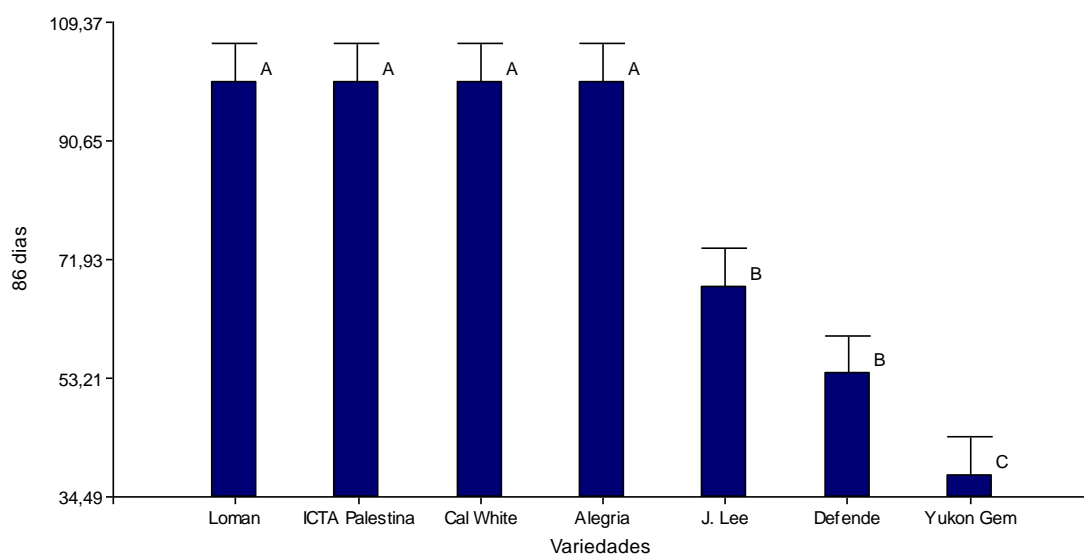


Figura 3: Análisis de Discriminación de medias por el método DGC de la incidencia de *Phytophthora infestans* en los genotipos evaluados a los 86 días después de la siembra

En la figura 3 se puede observar que las variedades Loman, Alegría, ICTA Palestina y Cal White mostraron incidencia del 100 % a la enfermedad a los 79 días después de la siembra, por lo se evidencia que estas variedad son muy susceptibles a la infección de *P. infenstans*.

## **7. Conclusiones**

Se identificó a la variedad Jacqueline Lee como el genotipo que presentó un rendimiento estadísticamente superior y diferente al resto de las variedades en las localidades de Quetzaltenango, San Marcos y Huehuetenango.

Se determinó que las variedades evaluadas no presentan inmunidad o resistencia a *Phytophthora infestans*.

Las variedades Jacqueline Lee, Defender y Yukon Gem presentaron estadísticamente la mejor tolerancia a la infección de *Phytophthora infestans* al mostrar la menor incidencia de la enfermedad.

## **8. Recomendaciones**

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

Incluir en la validación a las variedades Jacqueline Lee y Defender.

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

## 9. Referencias Bibliográficas.

CIP, 2010. Procedimientos para pruebas de evaluación estándar de clones avanzados de papa.

Messiaen, 1995. Enfermedades de las Hortalizas. Mundi Prensa. España.

Mosquera, J. 2007. Genética de la resistencia de la papa (*Solanum tuberosum* L) a patógenos. Estado de Arte. Universidad Nacional de Colombia.

Pérez, M. Forbes, G. 2018. Centro Internacional de la Papa CIP), Perú.

## 10. Anexos



Figura 4. Cosecha de ensayo de rendimiento en Ixcamal San Marcos.



Figura 5. Estudio de opinión de comercializadores y consumidores.



Figura 6. Cosecha de ensayo de rendimiento en Concepción Chiquirichapa.



Figura 7. Cultivares tolerantes y susceptibles en Ensayo de resistencia a *Phytophthora infestans* en Quetzaltenango.



Figura 8. Cultivares susceptibles en Ensayo de resistencia a *Phytophthora infestans* en San Marcos.



**CRIA**

Programa Consorcios  
Regionales de  
Investigación Agropecuaria

