



Recibido: 01/04/2020 | Aceptado: 20/05/2020

Accesible en línea: junio 2020

DOI:10.37066/ralap.v24i1.387

ISSN: 1853-4961

Respuesta de UCE -Premium y UCE Allipacha al ataque de *Phytophthora infestans*, *Rhizoctonia solani* y *Pectobacterium sp.*

Jorge Rivadeneira¹; Héctor Andrade-Bolaños^{2*}; Wilmer Cachipuendo- Alvear³; Miguel Gualoto-Ramírez⁴; Xavier Cuesta-Subia⁵

Resumen

El cultivo de papa en el Ecuador es afectado por limitantes de origen biótico dentro de las cuales el tizón tardío (*Phytophthora infestans*), la rizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*) y el pie negro (*Pectobacterium sp.*) en los últimos años se han convertido en limitantes importantes del cultivo. El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta en los genotipos UCE-Premium y UCE Allipacha con sus respectivos controles (tolerante y susceptible) en relación al ataque de estos patógenos. Para *P. infestans* se calculó el área bajo la curva de progreso relativo de la enfermedad (ABCPEr); en laboratorio se midió el rango de crecimiento de la lesión (RCL) y el tamaño de lesión (TL). Mientras que para rizoctoniasis se midió la incidencia y el rendimiento. Para pie negro se evaluó el volumen de pudrición y se estableció su grado de resistencia. INIAP Libertad y UCE Allipacha presentaron menor ABCPEr en campo con valores de 0.02 y 0.03, una RCL de 7.84 y 7.19 mm² y un TL 54.87, 54.46 mm² respectivamente. Para *R. solani*, no hubo efecto sobre el rendimiento, para incidencia sobresalieron INIAP-Puca Shungo e INIAP-Victoria con los valores más bajos 25.25% y 35.5%. El volumen de pudrición de *Pectobacterium sp.* en INIAP-Santa Catalina e INIAP- Victoria presentaron mayor volumen de pudrición en tubérculos con 19.07 ml y 18.50 ml respectivamente, mientras que UCE-Premium presentó el menor volumen de pudrición de tubérculo con 8.42 ml. Existió variación de la respuesta al ataque de los patógenos en los genotipos de papa evaluados.

Palabras clave: Severidad de infección, componentes de resistencia, mejoramiento genético, resistencia, raíces.

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: handrade@uce.edu.ec

¹ Jorge Rivadeneira. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP. Programa de Raíces y Tubérculo, Panamericana Sur km 1.

² Héctor Andrade-Bolaños. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

³ Wilmer Cachipuendo. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

⁴ Miguel Gualoto-Ramírez. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

⁵ Xavier Cuesta. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP. Programa de Raíces y Tubérculo, Panamericana Sur km 1.



Response of UCE-Premium and UCE Allipacha to *Phytophthora infestans*, *Rhizoctonia solani* and *Pectobacterium sp.*

Summary

Potato crop in Ecuador is affected by different limitations of biotic origin among them late blight (*Phytophthora infestans*), rhizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*) and blackleg (*Pectobacterium sp.*). In recent years, these limitations have become important factor to the crop. The objective of this research was to evaluate the response of UCE Premium and UCE Allipacha with their respective controls (tolerant and susceptible) to these pathogens. For *P. infestans*, under field conditions the relative area under the progress curve of the disease (AUDPCr) was calculated and the lesion growth rate (LGT) and the size of the lesion (TL) were measured in the laboratory. While, for rhizoctoniasis, incidence and yield were assessed. For blackleg, the tuber rot volume was evaluated and its resistance degree was established. INIAP Libertad and UCE Allipacha had lower ABCPEr in the field with values of 0.02 and 0.03, a LGT of 7.84 and 7.19 mm² and a TL 54.87, 54.46 mm² respectively. For *R. solani*, there was no effect on yield, for incidence INIAP-Puca Shungo and INIAP-Victoria showed the lowest values with 25.25% and 35.5%, respectively. The rot tuber volume of *Pectobacterium sp* for INIAP-Santa Catalina and INIAP- Victoria was 19.07 ml and 18.50 ml respectively, while UCE-Premium presented the lowest rot tuber volume 8.42 ml. There was variation in the response attack of these pathogens in the potato genotypes.

Keywords: infection severity, resistance components, plant breeding, resistance, roots

Introducción

El cultivo de papa está limitado por factores bióticos, abióticos y de calidad, siendo las enfermedades del tizón tardío, causado por el oomycete *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, rizoctoniasis causada por *Rhizoctonia solani* y el pie negro causada por *Pectobacterium sp*, los principales problemas. El tizón tardío es considerada la enfermedad que más pérdidas causa en el cultivo de papa, y se ha demostrado que puede destruir totalmente al cultivo cuando las condiciones ambientales para su desarrollo son las adecuadas, por lo que las pérdidas pueden ser del 100% del rendimiento (Cuesta *et al.*, 2014a).

La rizoctoniasis y el pie negro afectan al cultivo de papa en su calidad y sanidad con

pérdidas significativas en campo y en almacenamiento. La transmisión de estas dos enfermedades ocurre principalmente por semilla contaminada. El control de estas enfermedades es muy complicado y de altos costos (Kucharek y Bartz, 2000; Torres, 2002).

Por esta razón es necesario determinar la resistencia o susceptibilidad de las variedades Universidad Central del Ecuador (UCE) - Allipacha y UCE-Premium. Para estas evaluaciones se plantearon los objetivos, de evaluar la resistencia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en cinco genotipos de papa (*Solanum sp*) en campo y laboratorio y evaluar la resistencia de seis genotipos de papa (*Solanum sp*) a rizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*) y seis a pie negro (*Pectobacterium sp*), cuatro de ellos fueron los mismos.

Materiales y métodos

Ubicación

La investigación se realizó en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en la parroquia Cutuglagua, cantón Mejía, provincia de Pichincha, Ecuador a 3050 msnm, longitud: 78°33'06.19"O, latitud 00°22'02.91"S, precipitación promedio anual de 1600 mm y temperatura promedio anual 13.8 °C.

Germoplasma

Se evaluaron cinco genotipos de papa (ver Tabla 1).

Tizón Tardío

Campo Se dispuso un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones (Montgomery, 2010). Cada tratamiento estuvo constituido por cuatro surcos, se colocó un tubérculo a 0.30 m por sitio, a una distancia de 1.2 m entre surcos. La

parcela de cada tratamiento fue de 14.40 m² y la parcela neta estuvo comprendida de los dos surcos centrales con un área de 5.76 m². El área total del ensayo fue de 494 m². Se evaluó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (ABCPEr), el rendimiento total (t.ha⁻¹), rendimiento por categoría: comercial (tubérculos > 90 g), primera (60-90 g), segunda (30-60 g) y fina (<30 g) expresado en t.ha⁻¹.

En laboratorio: se empleó el método del folíolo desprendido (Vleeshouwers *et al.*, 1999), el cual consiste en tomar folíolos del tercio superior de la planta de 8 semanas y colocarlos en cajas Petri con el envés hacia arriba y luego inocularlos con 35 µl de suspensión de esporangios a una concentración de 40000 esporangios.ml⁻¹ y luego colocados en incubación a una temperatura de 18°C y con un fotoperíodo de 14 horas luz. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con ocho observaciones por tratamiento (Montgomery, 2010).

Tabla 1. Genotipos de papa evaluados para resistencia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*) (Mont.) de Bary, en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC).

Genotipos	Pedigrí	Reacción al tizón tardío*
UCE-Premium	(385205.5) x (393613.2=(TXY2))	Se desconoce su reacción
UCE- Allipacha	(395259.2) x (395271.6)	Se desconoce su reacción
INIAP- Libertad	(380479.15) x (Bk Precoz – 84)	Resistente
Superchola	(Curipamba negra x <i>S. demissum</i>) x (Clon resistente con comida amarilla x Chola seleccionada)	Moderadamente susceptible
Diacol Capiro	Tuquerreña (CCC 61) x 1967 (C) (9) (CCC 751)	Muy susceptible

*Fuente: INIAP Programa Nacional de Raíces y Tubérculos-Rubro papa: Cuesta *et al.*, 2014a; Cuesta *et al.*, 2014b

Procedimiento

Aislamiento: Se utilizó un aislamiento de una raza compleja de *P. infestans* obtenido en la provincia de Pichincha en la Estación Experimental Santa Catalina.

Activación y multiplicación del inóculo: Para la activación y multiplicación del inóculo se realizaron infecciones en folíolos de la variedad Superchola. El micelio del aislamiento mantenido durante dos meses en medio de cultivo Agar-Centeno se lavó con agua destilada y se realizó la inoculación en los folíolos los cuales se mantuvieron en cajas plásticas con alta humedad relativa interior con el fin de inducir el crecimiento de micelio (CIP, 1996).

Preparación del inóculo: Para la obtención de esporangios, los folíolos con el oomicete crecido y esporulado, se lavaron cuidadosamente con agua esterilizada utilizando una piceta. Luego se contó el número de los esporangios en una cámara de Neubauer (Hematocitómetro) y se ajustó la concentración del inóculo a 40000 esporangios.ml⁻¹ por dilución con agua estéril. Finalmente, el líquido que contenía los esporangios fue transferido a un vaso de precipitación y puesto a una temperatura de 5 °C durante tres horas para obtener zooporas (CIP, 1996).

Inoculación de folíolos: Se colectó folíolos completamente desarrollados del tercio superior de la planta de 8 semanas de edad. Posteriormente, los folíolos se colocaron con el envés hacia arriba en cajas Petri plásticas previamente preparadas con agar – agua al 10 % que fue utilizado para conservar humedad dentro de la caja. Los folíolos se inocularon con 35 µl de suspensión de esporangios, a una concentración de 40000 esporangios.ml⁻¹, en el centro del folíolo junto a la nervadura central (CIP, 2015).

Incubación: Las cajas con los folíolos inoculados se ubicaron en un cuarto de incubación a 18 °C y con un fotoperíodo de 14 horas luz (CIP, 1996).

Variables

Los componentes de resistencia para *P. infestans* evaluados fueron los siguientes:

Rango de crecimiento de la lesión: Se realizó la medición a los tres, cuatro y cinco días después de la inoculación. Se midió la longitud y el ancho más grande de cada lesión y para esto se utilizó un calibrador digital y la medición se registró en milímetros (Vleeshouwers *et al.*, 1999). El área de la elipse se calculó con la siguiente fórmula: $A = \frac{1}{4} \times \pi \times \text{longitud} \times \text{ancho}$ El rango de crecimiento de lesión se calculó mediante la diferencia de la sumatoria de la lesión actual (TL In) menos el tamaño de la lesión (TL) anterior dividido entre n-1, donde n es el número de lecturas. $RCL = \Sigma (TL \text{ In} - TL)/n-1$ (Gabriel *et al.*, 2007).

Tamaño de Lesión: Para esta variable se tomó una fotografía de cada folíolo al séptimo día de la inoculación. Luego mediante el programa Image J, se calculó el área en mm² de cada lesión (Chacón *et al.*, 2007; Singh y Birhman, 1994; Tello, 2008).

Tasa de Crecimiento de la lesión: En estas evaluaciones se midió la tasa de crecimiento lineal de la lesión, porque es el componente más representativo de resistencia a tizón tardío (Visker *et al.*, 2003), para lo cual se tomaron las longitudes más largas del largo (paralelo a la nervadura central) y del ancho que es perpendicular a la nervadura central, en milímetros y se calculó el área de la elipse: $A = \frac{1}{4} \times \text{perímetro} (p) \times \text{largo} \times \text{ancho}$ (Birhman y Singh, 1995). Esta área se usó para calcular la media de la mitad del diámetro (radio) de la lesión ($r = \sqrt{A/p}$), la cual se usó para estimar la tasa de crecimiento lineal de la lesión por una regresión lineal de los tres días

sucesivos de mediciones repetidas sobre la misma lesión y el área bajo la curva de progreso de la enfermedad relativa (ABCPer).

Rizoctoniasis

La evaluación de la resistencia a *Rhizoctonia solani* se realizó en el invernadero de la

Estación Experimental Santa Catalina del INIAP. Se evaluaron seis genotipos, dos de la Universidad Central del Ecuador (UCE) y cuatro testigos locales a *Rhizoctonia solani* (Tabla 2). Se dispuso en un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro observaciones.

Tabla 2. Genotipos evaluados para resistencia a *Rhizoctonia solani* en la EESC.

Genotipos	Pedigrí	Reacción a Rhizoctonia
UCE-Premium	(385205.5) x (393613.2)=(TXY.2))	Se desconoce su reacción.
UCE-Allipacha	(395259.2) x (395271.6)	Se desconoce su reacción.
INIAP-Natividad	INIAP-Gabriela x (<i>Solanum phureja</i> x <i>Solanum pausisetum</i>)	Susceptible
Superchola	(Curipamba Negra x <i>S. demissum</i>) x (Clon resistente con comida amarilla x Chola seleccionada)	Susceptible
INIAP-Victoria	(INIAP-Gabriela) x (INIAP-Fripapa)	Resistente
INIAP-Puca Shungo	Autofecundación de la variedad nativa Chaucha Camote (BOM 532)	Resistente

Fuente: INIAP, 2017.

Procedimiento

Aislamiento: Se preparó un medio de cultivo adecuado para el crecimiento del hongo, en este caso papa dextrosa agar (PDA Difco), se esterilizó a 15 PSI de presión por 20 minutos y cuando descendió la temperatura se adicionó ácido láctico. El medio se dispensó en cajas Petri previamente esterilizadas y se guardó en refrigeración hasta su uso.

Se procedió a descontaminar los tubérculos con síntomas de rizoctoniasis que fueron recolectados en el mercado de cercano a Quito, los tubérculos provenían de la provincia de

Carchi. Se procedió a lavar bien el tubérculo, luego se separó los esclerocios con un bisturí sacando lo más completo posible. Se hizo un lavado en hipoclorito de sodio al 1,5% por dos minutos y tres lavados con agua destilada.

Se tomaron los esclerocios y se realizó la siembra bajo la cámara de flujo en el medio PDA con ácido láctico, cinco esclerocios por caja Petri plástica y se colocó en una incubadora a 22 °C, a los 15 días de la siembra se realizó una purificación, sembrando medio con micelio no contaminado en nuevas cajas

Petri plásticas con PDA para obtener cultivos puros.

Identificación: Se realizaron placas con micelio que fueron observadas al microscopio óptico, se mostró micelio formando ramas en ángulo recto, típico de *Rhizoctonia solani*. Por las características que demostró este hongo; con las constricciones, las hifas septadas y la ramificación en T, se trató de *R. solani*.

Multiplicación del inóculo: Para la multiplicación del hongo se utilizó la metodología propuesta por Bains y Bisht (1995) y modificada por INIAP (2017), el sustrato que se utilizó fue 250 gramos de avena sin desinfectar depositada en un Erlenmeyer de 1000 cm³; se mezcló con agua en proporción 1:1, se procedió a esterilizar el Erlenmeyer realizando dos esterilizaciones seguidas.

Este sustrato se inoculó con pedazos de 1 cm² de medio de cultivo con micelio crecido del hongo *R. solani*, una vez inoculado el Erlenmeyer se lo mantuvo al medio ambiente hasta que se contamine la avena. Para tener una mezcla uniforme, se realizó agitaciones manuales del Erlenmeyer, dos veces por semana.

También se realizó un control del inóculo, sembrando en medio PDA las semillas que estaban inoculadas en el matraz, demostrando que las semillas de avena estaban con el hongo ya que presentaban el crecimiento característico de *R. solani*.

La metodología propuesta por INIAP (2017) nos permitió obtener un inóculo uniforme, gracias a que el inóculo se mantuvo a temperatura ambiente (aproximadamente a 22 °C) ya que los rangos de temperatura óptima de crecimiento de *R. solani* varían de 18 a 28 °C, lo que permitió que el inóculo se utilice a los

60 días. La agitación permitió que el micelio se disperse por todas semillas de avena en el matraz y el tapón colocado de algodón y gasa permitió la aireación del inóculo. Se realizó una sola hidratación durante el tiempo de incubación (Galárraga, 2015).

Inoculación: Se utilizó la metodología propuesta por Bains y Bisht (1995) y modificada por INIA (2017). En macetas plásticas con 1 kg de sustrato estéril, se colocó alrededor de los tubérculos de papa brotada, 15 g de *R. solani* multiplicado en semillas de avena, los tubérculos semilla se taparon con una capa de sustrato estéril. Adicionalmente se pesó 15 g de semilla de avena esterilizada sin inóculo y se colocó en dos tubérculos semilla como testigo. Se realizaron cuatro observaciones en las macetas inoculadas y dos en los testigos sin inóculo por cada genotipo.

Variables en estudio

Rendimiento: Se pesaron los tubérculos de cada planta a la cosecha y el resultado se expresó en kilogramos.

Incidenia en tubérculos: Se contó el número total de tubérculos presentes y se registró el número de tubérculos infectados con esclerocios de *Rhizoctonia solani*, que se expresó en porcentaje (French y Helbert, 1979).

Pudrición blanda

La evaluación de la resistencia a *Pectobacterium sp*, se realizó en el laboratorio en seis genotipos de papa (Tabla 3). Se dispuso un diseño completamente al azar. La unidad experimental fue medio tubérculo con 12 por genotipo (Montgomery, 2010).

Tabla 3. Genotipos de papa evaluadas para resistencia a *Pectobacterium sp* en la EESC

Genotipos	Pedigrí	Reacción a <i>Pectobacterium sp.</i>
UCE-Premium	(385205.5) x (393613.2)=(TXY.2))	Se desconoce su reacción.
UCE-Allipacha	(395259.2) x (395271.6)	Se desconoce su reacción.
INIAP-Victoria	(INIAP-Gabriela) x (INIAP-Fripapa)	Susceptible
INIAP-Santa Catalina	(Branca Cascuda x Pana Blanca) x (Jabonilla x Curipamba)	Susceptible
INIAP-Libertad	(380479.15) x (Bk Precoz - 84)	Resistente
Superchola	(Curipamba Negra x <i>S. demissum</i>) x (Clon resistente con comida amarilla x Chola seleccionada)	Resistente

Fuente: INIAP, 2017; Yáñez *et al.*, 2010; Cedeño *et al.*, 2017.

Procedimiento:

Aislamiento: Se utilizó el protocolo propuesto por Gutarra (2008).

Se realizaron muestreos de tubérculos de papa en almacenamiento, obteniendo muestras de diferentes variedades con síntomas de afectación por *Pectobacterium sp.*

El tubérculo con lesión de pudrición fue lavado con agua corriente, posteriormente tratado con una solución de hipoclorito de sodio al 0.5% y secado al ambiente. Luego, se realizó un corte para tener acceso al tejido entre la zona sana y podrida del tubérculo, de donde se tomó una muestra del exudado usando un asa estéril.

Se colocó en 3 ml de agua destilada estéril, se realizó un macerado de la muestra y se hizo diluciones sucesivas hasta 10⁻⁵, a partir de esta se tomó 100 µl de 10⁻², 10⁻³ y 10⁻⁵, en placas con medio CVP (Cristal Violeta Pectato). Las placas fueron incubadas a 24 °C durante 72 horas. Los aislamientos de *Pectobacterium sp* fueron identificados por depresiones en el

medio CVP a las 72 horas. Posteriormente se hizo la purificación de un aislamiento y fue multiplicado en medio líquido LB (Caldo Luria Bertani), dejando en agitación por dos días. La suspensión bacteriana a utilizar como inóculo fue ajustada a una concentración de 1.5 de absorbancia en un espectrofotómetro con 540 nm de longitud de onda.

Inoculación: Se realizó de acuerdo con el protocolo de Lapwood y Gans (1984), para lo cual se seleccionaron tubérculos íntegros (totalmente sanos), cada tubérculo se cortó longitudinalmente por la mitad y en el centro de cada medio tubérculo se cortó un pozo cilíndrico de 5 mm de diámetro y 5mm de profundidad con la ayuda de un tubo Pasteur.

Cada mitad se colocó sobre papel filtro humedecido en recipientes de plástico con tapa (30 x 30 x 10 cm). En cada pocillo del centro de los medios tubérculos se colocaron 100 µl de inóculo con la ayuda de una micropipeta. Durante el proceso de inoculación, la suspensión bacteriana se debe agitar

suavemente para evitar la sedimentación de las células bacterianas.

Luego de la inoculación, el papel filtro de cada recipiente plástico se humedeció con aproximadamente 100 ml de agua destilada esterilizada y los recipientes se taparon para asegurar la saturación de la humedad relativa y para evitar la contaminación de los tubérculos.

Después de la inoculación se incubó durante siete días en una cámara regulada a 21°C en obscuridad constante. Posteriormente se realizaron las evaluaciones correspondientes descritas en las variables y los métodos de evaluación de *Pectobacterium sp.*

Variables

Reacción a la infección: Se realizó mediante la observación visual de los síntomas típicos que presentaron, como: pudrición viscosa, mucoide y degradación, se registró la reacción a la infección en un cuadro donde se describió

como positiva (+) en presencia de síntomas y como negativa (-) al no haber presencia de síntomas (Yáñez *et al.*, 2009).

Volumen de pudrición: Luego de la incubación por siete días, todo el tejido podrido se retiró cuidadosamente de cada mitad de tubérculo, con la ayuda de una espátula. La cavidad formada se llenó hasta el tope con agua dispensada desde una pipeta graduada para determinar el volumen de tejido podrido, esta variable se expresó en milímetros (Yáñez *et al.*, 2009).

Grado de resistencia: se evaluó en base a la escala desarrollada por Wang *et al.*, (1991) y modificada por Yáñez *et al.*, (2009) (Tabla 4).

Para establecer las diferencias entre tratamientos se realizó: un análisis de varianza y se utilizó la prueba de separación de medias de Scheffé al 5% mediante el programa R

Tabla 4. Escala de evaluación de la resistencia a *Pectobacterium sp* en tubérculos en variedades de papa en EESC.

Volumen del tejido podrido (ml)	Grado de resistencia
Valores 0 y < 5	Resistente (R)
Valores >5 y <10	Moderadamente resistente (MR)
Valores >10 y <15	Moderadamente susceptible (MS)
Valores >15	Susceptible (S)

Resultados y Discusión

Tizón Tardío

Componentes de la resistencia El análisis de varianza determinó diferencias estadísticas al

$p < 0.01\%$ para RCL y TL y ninguna diferencia para TCL. El coeficiente de variación para RCL, TL y TCL fue de 11.17%, 8.83% y 35.26 % respectivamente. El promedio general para RCL, TL y TCL fue de 9.01mm^2 , 300.59mm^2 y $0.47\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$ (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza para los componentes de resistencia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*) rango de crecimiento de la lesión (RCL), tamaño de la lesión (TL) y tasa de crecimiento de la lesión (TCL) en cinco genotipos de papa en EESC.

Fuentes de variación	Grados de libertad	RCL mm ²	TL mm ²	TCL mm/día
Total	39			
Tratamientos	4	25.22**	0.01**	0.03 ^{ns}
Error	35	1.01	7.6×10^{-5}	0.03
Promedio		9.01	300.59	0.47
CV (%)		11.17	8.83	35.26

^{ns} No significativo; **significativo al 1%

El RCL y TL en las variedades INIAP Libertad y UCE Allipacha presentaron la menor área afectada con 7.84, 7.19 y 54.87, 54.46 mm² respectivamente. DIACOL Capiro para RCL y TL se ubicó en el último rango de significación con la mayor área afectada 11.61 y 1186.88 mm². La variedad con el menor promedio de TCL fue INIAP-Libertad con $0.39\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$, mientras DIACOL Capiro mostró la mayor TCL con $0.54\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$ (Tabla 6). UCE-Allipacha y Libertad presentaron una respuesta similar a los componentes RCL y TL, mientras

UCE-Premium mostró una respuesta igual a Superchola. Gabriel *et al.*, (2011) reportó valores similares de RCL al evaluar materiales con resistencia (1.00 a 6.50 mm²) y susceptibilidad (15.16 a 15.37 mm²) en clones de procedencia del Centro Internacional de la Papa. Los valores de DIACOL Capiro para TL fueron similares a los que obtuvo Sevilla (2018) con 1111.50 mm² en la variedad susceptible. TL está correlacionado con el RCL por lo que se esperaría que los materiales que tuvieron menor TL presenten también menor RCL (Vleeshouwer *et al.*, 1999).

Tabla 6. Promedio y prueba de Scheffé al 5% para rango de crecimiento de la lesión (RCL), tamaño de la lesión (TL) y tasa de crecimiento de la lesión (TCL), en cinco genotipos de papa, en la EESC.

Genotipos	RCL mm²	TL mm²	TCL mm día⁻¹
INIAP-Libertad	7.19 a ¹	54.46 a	0.39
UCE Allipacha	7.84 a	54.87 a	0.44
UCE Premium	9.94 b	108.2 b	0.47
Superchola	8.47 ab	95.53 b	0.50
DIACOL-Capiro	11.61 c	1186.88 c	0.54

¹ Letras diferentes indican diferencias significativas entre genotipos según la prueba de Scheffé al 5 %

Área bajo la curva de progreso de la enfermedad relativa (ABCPEr)

En el análisis de la varianza para la variable ABCPEr se establecieron diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad entre tratamientos (Tabla 8). El promedio general fue de 0.11 de ABCPEr y el coeficiente de variación fue de 19.89 %. La prueba de Scheffé al 5% (Tabla 9), determinó dos rangos de significación. Las variedades INIAP Libertad, UCE Allipacha y Superchola se ubicaron en el primer rango con promedios de 0.02 y 0.03 ABCPEr respectivamente. Mientras que, la variedad DIACOL Capiro con un promedio de 0.368 de ABCPEr se ubicó en el último rango. En la Tabla 7, las variedades

INIAP Libertad y DIACOL Capiro se mantuvieron estables dentro del comportamiento dinámico del tizón tardío en los tres años, en cambio la variedad Superchola se mantuvo estable en los años 2014 y 2016, pero en 2017 registró un valor menor, esto se podría ser por algún cambio en la raza prevalente de *P. infestans*. Mientras que, de las nuevas variedades no se ha registrado información alguna y solo se cuenta con la obtenida en esta investigación. Pero se pudo observar que UCE Allipacha presentó menor valor en la escala de susceptibilidad y por lo tanto presentó una respuesta de resistencia mientras que la variedad UCE Premium con mayor valor de escala de susceptibilidad presenta una reacción de resistencia moderada (Tabla 7).

Tabla 7. Valor de la escala de susceptibilidad en la Evaluación de resistencia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*) (Mont.) de Bary en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Cutuglagua, Pichincha 2017.

Tratamiento	Variedad	2014	2016	2017
3	INIAP Libertad	0	0	1
2	UCE Allipacha	-	-	1
4	Superchola	4	3	1
1	UCE Premium	-	-	5
2	Diacol Capiro	8	9	9

Nota: Para interpretar el valor de la escala de susceptibilidad obtenida en esta investigación, se buscó datos reportados por Taipe *et al.*, 2013 y Oñate en 2016.

El análisis de la varianza estableció diferencias estadísticas al $p < 0.01$ para variedades. El promedio general fue de 544.6 valores de ABCPE y un coeficiente de variación de 14.27%. Las variedades INIAP Libertad, UCE Allipacha y Superchola mostraron menos daño de *P. infestans* y se ubicaron en el primer rango de significación con: 100.63, 105.88 y 123.38 valores de ABCPE respectivamente (Tabla 8). UCE-Allipacha mostró resistencia a *Phytophthora infestans* similar al testigo resistente INIAP-Libertad. DIACOL Capiro se encontró en el último rango de significación con 1543.50 de ABCPE (Tabla 8). Ñustez (2010), indicó que DIACOL Capiro es una variedad altamente susceptible a *P. infestans*. Las condiciones ambientales favorecieron el desarrollo de la enfermedad en el testigo susceptible (DIACOL Capiro) con una precipitación de 394.0 mm y humedad relativa de 73%. UCE-Premium mostró una reacción de susceptibilidad a *P. infestans* con 849.63 valores de ABCPE. Superchola presentó una reacción de resistencia a la enfermedad. Sin

embargo, es una variedad reportada como susceptible a tizón tardío (Cuesta *et al.*, 2014a; Oñate 2016; Rivadeneira *et al.*, 2016). Una de las causas para que Superchola muestre resistencia a *P. infestans* pudo deberse a que Superchola posee genes R que todavía son efectivos para algunas razas de *P. infestans*, que probablemente estuvieron presentes en el ensayo.

Rendimiento y sus componentes

Para rendimiento total y sus categorías el análisis de la varianza estableció diferencias estadísticas al $p < 0.01$. El promedio general del rendimiento fue de 22.25 t.ha⁻¹, el rendimiento promedio para las categorías (comercial, primera, segunda y tercera) fue de 2.24, 3.96, 5.28 y 5.70 t.ha⁻¹ respectivamente. El coeficiente de variación para rendimiento y sus categorías estuvo entre 18.04 a 38.62 % (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de varianza para las variables de rendimiento y área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa para la resistencia a tizón tardío en cinco genotipos de papa en EESC.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Rendimiento t.ha ⁻¹	Comercial t.ha ⁻¹	Primera t.ha ⁻¹	Segunda t.ha ⁻¹	Tercera t.ha ⁻¹	ABCPEr
Total	19						
Genotipos	4	426.39**	4.58**	26.65**	2.16*	34.48**	4.98**
Repetición	3	3.02 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.58 ^{ns}	0.40 ^{ns}
Error	12	16.12	0.16	2.34	0.43	1.91	0.32
Promedio		22.25	2.24 ¹	3.96	5.28 ¹	5.7	0.11 ²
CV (%)		18.04	36.54	38.62	30.65	24.25	19.89

^{ns} No significativo; **significativo al 1%; * significativo al 5% ; ¹= Transformado por raíz cuadrada; ² = Transformado por logaritmo natural

Tabla 9. Promedio y prueba de Scheffé al 5% para genotipos en las variables rendimiento t.ha⁻¹, rendimiento por categorías, área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa en la EESC.

Genotipos	Rendimiento t.ha ⁻¹	Comercial t.ha ⁻¹	Primera t.ha ⁻¹	Segunda t.ha ⁻¹	Tercera t.ha ⁻¹	ABCPEr	ABCPE
INIAP-Libertad	31.66 a ¹	6.86 a	6.08 a	6.42 ab	5.73 b	0.02 a	100.63 a
UCE Allipacha	31.11 a	3.04 ab	6.34 a	7.12 a	6.86 ab	0.03 a	105.88 a
UCE Premium	20.56 b	1.13 bc	4.86 ab	4.86 ab	4.60 bc	0.20 b	849.23 b
Superchola	21.67 ab	0.17 cd	2.00 bc	6.86 a	9.64 a	0.03 a	123.38 a
DIACOL-Capiro	6.25 c	0.00 d	0.52 c	1.13 b	1.65 c	0.368 b	1543.5 b

¹ Letras diferentes indican diferencias significativas entre genotipos según la prueba de Scheffé al 5 %

Las variedades INIAP – Libertad y UCE Allipacha presentaron los mayores rendimientos con 31.66 y 31.11 t.ha⁻¹ y se ubicaron en el primer rango de significación, mientras DIACOL Capiro se ubicó en el último con 6.25 t.ha⁻¹. UCE-Premium se encontró en

el segundo rango de significación con 20.56 t.ha⁻¹ (Tabla 9). Rivadeneira *et al.*, (2017) obtuvo rendimientos similares en las variedades INIAP-Libertad y DIACOL Capiro con 33.23 y 8.68 t.ha⁻¹, respectivamente.

Sin embargo, en la variedad Superchola los rendimientos fueron menores (14.14 t.ha^{-1}) a causa del tizón tardío. En relación a las variedades UCE-Allipacha y UCE-Premium, no existen reportes de rendimientos en ensayos a libre infección para *P. infestans*. Sin embargo, Camacho (2018) en su investigación sobre las características agroindustriales en estas dos variedades, UCE Allipacha y UCE-Premium presentaron rendimientos con valores entre 21.04 a 24.67 t.ha^{-1} . A pesar de no ser un ensayo a libre infección presentó rendimientos parecidos a los reportados en esta investigación, lo que puede indicar que el tizón tardío no afectó el rendimiento de estas variedades.

Tabla 10. Análisis de varianza para rendimiento con y sin inoculación de *Rhizoctonia sp.* en genotipos de papa, EESC.

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Cuadrados medios
Total	35	
Genotipos (G)	5	0.03 ^{ns}
Inoculo (I)	1	4.80E-03 ^{ns}
G*I	5	0.01 ^{ns}
Error	24	0.01
Promedio (kg)		0.46
CV (%)		24.71

^{ns} No significativo

INIAP-Victoria e INIAP-Puca Shungo se ubicaron con la menor incidencia a *Rhizoctonia sp.* con 35.50 % y 25.25 % respectivamente.

Rizoctoniasis

Rendimiento

Al realizar el análisis de varianza para rendimiento con y sin inoculación, se observó diferencias estadísticas para genotipos (G), inoculación (I) y para su interacción. El promedio general fue de 0.46 kg por planta y un coeficiente de variación de 24.71% (Tabla 10).

Incidencia en tubérculo

Al realizar el análisis de varianza para incidencia de *R. solani* en tubérculos se encontró diferencias estadísticas para genotipos. El promedio general fue de 44.63% de incidencia de *R. solani* en tubérculos y un coeficiente de variación de 21.56% (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de varianza para porcentaje de incidencia de *R. solani* en tubérculos de genotipos de papa, EESC.

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Cuadrados medios
Total	23	
Genotipos	5	873.48*
Error	18	92.57
Promedio (%)		44.63
CV (%)		21.56

* Significativo al 5%

Carrión *et al.* (2017), presentó porcentajes menores de infección en INIAP-Puca Shungo e INIAP Victoria. Superchola se ubicó en el

último rango de significación con 64.25% de incidencia de *Rhizoctonia sp.* Las variedades UCE-Allipacha y UCE-Premium presentaron 38.25 y 59.00 % de incidencia en el tubérculo de *Rhizoctonia sp.* Esto nos indica que UCE-

Allipacha presenta cierta resistencia a la enfermedad, mientras UCE-Premium muestra una moderada susceptibilidad a *Rhizoctonia sp.* (Tabla 12).

Tabla 12. Promedios y prueba de Scheffé al 5% para rendimiento, porcentaje de incidencia e infección a *R. solani* en el tubérculo de los genotipos de papa evaluados EESC.

Genotipos	Rendimiento kg planta ⁻¹		% Incidencia
	Inoculado	Sin Inóculo	
INIAP-Natividad	0.56	0.55	45.50 abc ¹
UCE-Allipacha	0.47	0.50	38.25 ab
UCE-Premium	0.46	0.61	59.00 bc
Superchola	0.41	0.36	64.25 c
INIAP-PucaShungo	0.40	0.39	25.25 a
INIAP-Victoria	0.39	0.43	35.50 a

¹ Letras diferentes indican diferencias significativas entre genotipos según la prueba de Scheffé al 5 %

Resistencia

Reacción a la infección

En la evaluación de la infección, se pudo verificar que el 100 % de los tubérculos inoculados con *Pectobacterium sp.* presentaron síntomas de la enfermedad. Los controles, no inoculados, no presentaron ninguno de los síntomas. El alto porcentaje de incidencia en tubérculos inoculados fue resultado de la temperatura y humedad que favorecieron el desarrollo del patógeno. La temperatura máxima promedio fue de 25 °C y la

temperatura mínima promedio fue de 20 °C, con una humedad relativa 70 %. Perombelon (2002) determinó que las temperaturas óptimas para el desarrollo de *P. carotovorum* es de 28 a 35 °C.

Volumen de pudrición.

El análisis de la varianza de la variable volumen de pudrición de *Pectobacterium sp.* presentó diferencias estadísticamente significativas al 5 %, un coeficiente de variación de 42.20 % y un promedio general de 14.61 ml (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis de la varianza para la variable volumen de pudrición de *Pectobacterium sp.* en variedades de papa, EESC.

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Cuadrados medios
Total	71	
Genotipo	5	214.17*
Error	66	38.04
Promedio (ml)		14.61
CV (%)		42.20

* significativo al 5%

Los genotipos, INIAP-Catalina, INIAP-Victoria y UCE-Allipacha presentaron el mayor volumen de pudrición con 19.07 %, 18.50 % y 16.95 %, respectivamente. El genotipo UCE-Premium se ubicó en el mejor

rango de significación con 8.42 ml (Tabla 14). UCE-Premium mostró valores de pudrición menores a INIAP-Libertad y UCE-Allipacha mostró valores de pudrición similares a INIAP-Victoria e INIAP-Catalina.

Grado de resistencia

La variedad UCE-Premium presentó una moderada resistencia a *Pectobacterium sp* con valores de pudrición entre >5 y <10 ml. Las variedades INIAP-Libertad y Superchola mostraron una moderada susceptibilidad a *Pectobacterium sp* con valores entre >10 y <15 ml, mientras UCE Allipacha, INIAP-Victoria e INIAP-Catalina se ubican como susceptibles con valores mayores a 15 ml (Tabla 14). Cedeño *et al.* (2017), obtuvo resultados similares de susceptibilidad a *Pectobacterium sp* en las variedades INIAP-Victoria e INIAP-Catalina mientras para Superchola e INIAP-Libertad presentó una respuesta de resistencia. Yáñez *et al.* (2009), que determinó los grados de susceptibilidad y resistencia en 24 variedades nativas, una variedad mejorada y 3 clones de papa.

Tabla 14. Prueba de Scheffé para la variable volumen de pudrición de *Pectobacterium sp* en genotipos inoculados, EESC.

Genotipos	Pudrición (ml)
UCE-Premium	8.42 a
INIAP-Libertad	11.92 ab
Superchola	12.83 ab
UCE-Allipacha	16.95 b
INIAP-Victoria	18.50 b
INIAP-Catalina	19.07 b

¹ Letras diferentes indican diferencias significativas entre genotipos según la prueba de Scheffé al 5 %

Conclusiones

Existió variación en la respuesta de los genotipos al ataque de *P. infestans*. UCE Allipacha es una variedad que presentó una respuesta de resistencia a *P. infestans* y UCE Premium una reacción de susceptibilidad moderada.

Las variedades evaluadas presentaron diferencias en la respuesta al ataque de *Rhizoctonia* sp. UCE Allipacha presenta una reacción de resistencia a *Rhizoctonia* sp y UCE Premium muestra una reacción de susceptibilidad a esta enfermedad.

Las variedades evaluadas presentaron variación en la respuesta a *Pectobacterium* sp. UCE Premium mostró características de resistencia a *Pectobacterium* sp y UCE Allipacha tuvo un comportamiento de susceptibilidad a la enfermedad.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos con la publicación de este trabajo de investigación.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo incondicional de la Ing. Agr. Cristina Tello e Ing. Agr. Pablo Jaramillo.

Referencias

Bains, P., Bisht, V. (1995). Anastomosis group identify and virulence of *Rhizoctonia solani* isolates collected from plants in Alberta, Canada. *Plant Disease* 79, 241-242.

Birhman, R., Singh, B. (1995). Path-coefficient analyses and genetic parameters of the components of field resistance of potatoes to late blight. *Ann. Appl. Biol.* 127: 353-362.

Carrión, G., Flores, F., Rivadeneira, J., Tello, C. (2017). Evaluación de la resistencia de genotipos de papa a costra negra (*Rhizoctonia* sp.) bajo condiciones controladas. *Memorias del VII Congreso Ecuatoriano de la Papa*. Carchi, Ecuador. 204 p.

Camacho, E. (2018). Evaluación de características agroindustriales en cuatro genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo dos niveles de fertilización. Tesis de Ingeniería. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito, Ecuador. 90 p.

Chacón, M., Andrade-Piedra, J., Gessler, C., Forbes, G. (2007). Aggressiveness of *Phytophthora infestans* and phenotypic analysis of resistance in wild Petota accessions in Ecuador. *Plant Pathology* 56:549-561.

Cedeño, S., Monteros, C., Tello, C. (2017). Evaluación de la resistencia de genotipos de papa a *Pectobacterium* sp. en condiciones controladas. *Memorias de VII Congreso Ecuatoriano de la papa*. 210 p.

Centro Internacional de la papa (CIP), (2015). *Laboratory Manual for Phytophthora infestans work at CIP*. Lima, Perú. 31p.

Centro Internacional de la papa (CIP) (1996). *Principales enfermedades, nematodos e insectos de la papa*. Centro Internacional de la Papa. Apartado 1158. Lima, Perú. 20p.

Cuesta, X., Rivadeneira, J., Pumisacho, M., Montesdeoca, F., Velásquez, J., Reinoso, I., Monteros C. (2014a). *Manual del cultivo de papa para pequeños productores*. INIAP, Quito Ecuador. 98 p.

Cuesta, X., Oyarzún P., Andrade, J., Kromann, P., Taipe, A., Montesdeoca, L., Rivadeneira, J., Monteros, C., Comina, P., Carrera, E., Reinoso, I. (2014b). Nueva variedad de papa con resistencia a la lancha, precocidad y calidad. *Plegable No. 421*. 6 p.

- Forbes, G., Pérez, W., Andrade-Piedra, J. (2014). Field assessment of resistance in potato to *Phytophthora infestans*. International Potato Center (CIP). Lima, Perú. 35 p.
- French, E., Helbert, T. (1979). Métodos de Investigación Fitopatológica. S.e. s.l. IICA, Costa Rica. 290 p.
- Gabriel, J., Coca, A., Plata, G., Parlevliet, E. (2007). Characterization of the resistance to *Phytophthora infestans* in local potato cultivars in Bolivia. *Euphytica* 153:321-328.
- Gabriel, J., Fernández, S., Plata, G., Siles, M. (2011). Niveles de resistencia al tizón tardío en clones de papa del Centro Internacional de la Papa (CIP) evaluados en Bolivia. *Revista Latinoamericana de la Papa* 16(1): 127-141.
- Galárraga, A. (2015). Evaluación de la resistencia a costra negra (*Rhizoctonia solani* Kühn) AG3 aislada de la provincia de Carchi en material germoplásmico de papa a nivel de invernadero. Tesis de Ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas. Sangolquí, Ecuador. 87 p.
- Gutarra, L. (2008). Aislamiento, Identificación y Métodos de inoculación para evaluación de resistencia a *Pectobacterium* (ex *Erwinia*). In Curso de entrenamiento. Centro Internacional de la Papa. Lima. Perú.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP (2017). Informe Anual del Programa Nacional de Raíces y Tubérculos de la Estación Experimental Santa Catalina. 44p.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. (2017). Sanidad Vegetal – Enfermedades de la papa: Pudriciones blandas y pie negro. Ficha técnica N° 51. Santiago, Chile.
- Kucharek, T.; J. Bartz. (2000). Bacterial Soft Rot of Vegetables and Agronomic. Crops, Plant Pathology Fact Sheet 2:12-18.
- Lapwood, D. y Gans, P. (1984). A method for assessing the field susceptibility of potato cultivars to blackleg (*Erwinia carotovora* subsp. *Atroseptica*). *Ann. Appl. Biol.* 104:315-320.
- Montgomery, D. (2010). Diseño y análisis de experimentos. Editor R. Piña, Segunda edición y traducida. Limusa Wiley. 700 p.
- Ñustez, E. (2011). Variedades Colombianas de papa. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. 46 p. Disponible en <https://drive.google.com/file/d/0B0d7qZ6xkUiiRTVzdzd5dnFsdjg/view>. Consulta 25/03/2017.
- Pérombelon, M. (2002). Potato diseases caused by soft rot erwinias: An overview of pathogenesis. *Plant Pathology*. 51:1-12.
- Oñate, M. (2016). Evaluación de la resistencia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en quince clones promisorios. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador. 75p.
- Rivadeneira, J., Monteros, C., Comina, P., Oñate, M., Andrade, H., Cuesta, X. (2017). Evaluación de la resistencia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en clones promisorios de papa. Memorias del VII Congreso Ecuatoriano de la Papa. Carchi, Ecuador. 204 p.
- Rivadeneira, J., Comina, P. (2016). Evaluación de la resistencia a tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en genotipos de papa. Informe Técnico del Programa Nacional de Raíces y Tubérculos, papa del INIAP. 25 p.
- Sevilla, A. (2018). Evaluación de componentes de resistencia genética de papa (*Solanum* sp.) al tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en condiciones controladas. Tesis de grado Universidad de las Américas. 77p.
- Singh, B.P., Birhman, R.K. (1994). Laboratory estimation of field resistance of potato to late blight. *Journal of Phytopathology* 140: 71-76.

Taibe, A., Forbes, G., Andrade-Piedra, J., Kromman, P. (2013). Estimación de la susceptibilidad a *Phytophthora infestans* en genotipos de papa. Memoria del V Congreso Ecuatoriano de la Papa. Riobamba, Ecuador. 174 p.

Torres, H. (2002). Manual de las enfermedades más importantes en el Perú. Lima (Perú): CIP. 59 p.

Tello, C. (2008). Identificación de aspectos epidemiológicos relacionados con la expresión de resistencia de la papa (*Solanum tuberosum*) para las poblaciones de *Phytophthora infestans*, predominantes en tres localidades de la sierra ecuatoriana. Tesis de Ingeniería, Universidad Central del Ecuador. 72 p.

nativas a papa del Ecuador a *Pectobacterium sp*". Memorias I Congreso Internacional de Investigación y Desarrollo de Papas Nativas. PNRT-papa. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. pp. 52-53

Wang, D., Liyuan, H., Changling, Z., Jinyue, H. (1991). Development of procedures for evaluation of potato tuber for resistance to *Erwinia* soft rot. Working Papers Series. Philippenes. 1991: pp 31-34.

<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1240>

Vleeshouwers, V., Dooijeweert, W., Keizer, P., Sijpkes, L., Govers, F., Colon, L. (1999). A laboratory assay for *Phytophthora infestans* resistance in various *Solanum* species reflects the field situation. *European Journal of Plant Pathology* 105:241-250.

Visker, M.H.P.W., Keizer, L.C.P., Budding, D.J., Van Loon, L.C., Colon, L.T., and Struik, P.C. (2003). Leaf position prevails over plant age and leaf age in reflecting resistance to late blight in potato. *Phytopathology* 93: 666-674.

Yáñez, E., Cuesta, X., Rivadeneira, J., Reinoso, I. (2009). Informe del estudio "Evaluación de la resistencia de variedades