

Identificación de genotipos de papa con tolerancia al déficit hídrico

Identification of potato genotypes with tolerance to water deficit

Jorge Rivadeneira R.^{1,*}; Pablo Jaramillo A.²; Enrique Fernandez-Northcote³; Xavier Cuesta S.¹

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina (EESC), Quito, Ecuador.

² Universidad San Francisco de Quito (USFQ), Quito, Ecuador.

³ Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Lima- Perú.

*Autor correspondiente: jorge.rivadeneira@iniap.gob.ec (J. Rivadeneira R.).

J. Rivadeneira R.  <https://orcid.org/0000-0002-3657-9910>

P. Jaramillo A.  <https://orcid.org/0000-0002-2617-3271>

E. Fernandez-Northcote  <https://orcid.org/0000-0003-4445-2319>

X. Cuesta S.  <https://orcid.org/0000-0003-0563-5120>

RESUMEN

Con el objetivo de identificar genotipos de papa (*Solanum* spp.) con tolerancia al déficit hídrico, se implementó un ensayo en invernadero en la EESC del INIAP. Se evaluaron 39 genotipos con y sin déficit hídrico. Las variables evaluadas fueron: potencial de recuperación (PR), contenido relativo de agua (CRA), potencial hídrico (Ψ_h), número de tubérculos por planta (NTP), rendimiento por planta (RP) y promedio geométrico del rendimiento (PGR). Se encontró un efecto significativo de genotipos (G), déficit hídrico (E) y su interacción G x E. La variedad INIAP-Josefina mostró tolerancia al déficit hídrico en la mayoría de variables. Esta investigación mostró genotipos con un mejor PR que otros, a los 16 días de déficit hídrico y a las 24 horas de recuperación. Para CRA se encontraron genotipos a los 13 y 16 días de déficit hídrico con valores superiores a los 66,98 y 62,98% respectivamente. Los clones 11-9-108, 12-4-145 e INIAP-Josefina con más de 9 tubérculos por planta se ubicaron en los primeros rangos, mientras INIAP-Josefina, 11-9-85, 11-9-45 y 12-4-50 presentaron rendimientos superiores a 132 g/planta. El PGR estableció a INIAP-Josefina, 11-9-45 y 11-9-85 en los primeros rangos con valores superiores a 122,54. Al evaluar el Ψ_h con déficit hídrico se encontró a INIAP-Catalina, INIAP-Estela y los clones 11-9-66, 11-9-85, 11-9-28 y 11-9-92 mostraron el menor efecto del estrés hídrico con valores menores. Existió variación en la respuesta de los genotipos al déficit hídrico, se han identificado genotipos con tolerancia que continuarán el proceso de evaluación dentro del esquema de mejoramiento.

Palabras claves: Potencial hídrico; potencial de recuperación; déficit hídrico; sequía; clones.

ABSTRACT

To identify potato genotypes with tolerance to water deficit, a greenhouse test was implemented at the EESC of INIAP. Thirty-nine genotypes with and without water deficit were evaluated. The assessed variables were: recovery potential (PR), relative water content (CRA), water potential (Ψ_h), number of tubers per plant (NTP), yield per plant (RP) and geometric average yield (PGR). A significant effect of genotypes (G), water deficit (E) and their G x E interaction was found. The INIAP-Josefina variety showed tolerance to water deficit in most variables. This research showed genotypes with a better PR than others, at 16 days of water deficit and at 24 hours of recovery. For CRA, genotypes were found at 13 and 16 days of water deficit with values higher than 66.98 and 62.98% respectively. Clones 11-9-108, 12-4-145 and INIAP-Josefina with more than 9 tubers per plant were located in the first ranges, while INIAP-Josefina, 11-9-85, 11-9-45 and 12-4-50 presented yields higher than 132 g / plant. The PGR established INIAP-Josefina, 11-9-45 and 11-9-85 in the first ranges with values higher than 122.54. When evaluating Ψ_h with water deficit, INIAP-Catalina, INIAP-Estela and clones 11-9-66, 11-9-85, 11-9-28 and 11-9-92 showed the least effect of water stress with lower values. There was variation in the response of genotypes to water deficit, genotypes with tolerance have been identified that will continue the evaluation process within the breeding scheme.

Keywords: Water potential; recovery potential; water deficit; drought; clones.

Recibido: 27-10-2020.

Aceptado: 10-12-2020.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos alimenticios más importantes del mundo después del arroz, trigo y maíz en términos de consumo humano (Zhang *et al.*, 2017). Más de mil millones de personas en todo el mundo consumen papas y la producción mundial de cultivos superó los 388 millones de toneladas en 2017 (FAO, 2019). Actualmente, los temas de importancia en la agricultura son el cambio climático que ocasiona escasez o exceso de agua, olas de calor, bajas temperaturas, entre otras (UNESCO, 2020). Al mismo tiempo, el crecimiento demográfico mundial está proyectado a casi 10 000 millones de habitantes para el año 2050 lo que supone un incremento sustancial en la demanda mundial de alimentos y consecuentemente, en la demanda de agua para su producción (FAO, 2018). Por el efecto del cambio climático a nivel global se proyecta una disminución en el rendimiento en los productores de papa en todos los países (George *et al.*, 2018; Aliche *et al.*, (2018); Adesina y Thomas, 2020). La India que actualmente es el segundo mayor productor de papa en el mundo después de China, debido al efecto del cambio climático ha proyectado pérdidas en el rendimiento alrededor del 11% para el 2080 (Naresh Kumar *et al.*, 2015).

El déficit hídrico puede causar impactos considerables en el cultivo, los cuales perturban las

funciones fisiológicas fundamentales de la planta, como fotosíntesis, adquisición de nutrientes esenciales, transporte a través de xilema y floema, interacciones entre órganos y rendimiento (Feller, 2016; Rudack *et al.*, 2017).

El cultivo de papa es afectado por factores bióticos y abióticos, los cuales pueden generar grandes pérdidas en la producción y calidad del cultivo. Un factor importante es la escasez de agua dulce para riego que podría duplicar los efectos perjudiciales del cambio climático en la agricultura, debido a la reducción de los rendimientos de cultivos básicos para la alimentación mundial como son maíz, soja, trigo, papa y arroz (Elliott *et al.*, 2014).

En Ecuador, la producción nacional de papa en el 2018 fue de 269201 toneladas, cultivadas en 22099 hectáreas, con un rendimiento promedio de 12,18 t/ha, (INEC, 2019). La producción nacional de papa del año 2018 presentó una reducción del 29 % respecto al año 2017 (MAG, 2019). Una de las causas fue la sequía, en la Provincia del Carchi, la producción de papa se redujo en un 37% según reporte del Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG, (2019). La presente investigación tuvo como objetivo identificar genotipos de papa con tolerancia al déficit hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La investigación se llevó a cabo en invernadero en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ubicada en Cutuglahua, cantón Mejía, provincia de Pichincha, cuya ubicación geográfica es: 0°22'10,03" latitud Sur y 78°33'19,90" de longitud oeste, a una altura de 3058 m.s.n.m. La temperatura máxima promedio fue de 20,8 °C, mínima promedio fue de 6,2 °C y una humedad relativa de 70% (INAMHI, 2020).

Material vegetativo

Treinta y nueve genotipos de papa se evaluaron, de los cuales treinta y dos son clones del programa de mejoramiento, tres variedades nativas comerciales (Cacho negro, Cacho blanco y Jubaleña) y cuatro variedades mejoradas (INIAP-Josefina, INIAP Estela, INIAP Catalina y DIACOL Capiro). Los clones cuentan con buenas características como altos rendimientos (> 30 t/ha), precocidad (\leq 145 días), resistencia a tizón tardío y calidad de tubérculo. Las variedades comerciales nativas y mejoradas fueron seleccionadas por su diferente comportamiento al déficit hídrico bajo condiciones de campo, siendo INIAP Josefina la variedad con mayor tolerancia y DIACOL Capiro con menor tolerancia al déficit hídrico (Cuesta *et al.*, 2017; Romero *et al.*, 2017; Peña, 2013; Monteros *et al.*, 2011).

Variables en estudio

Las variables evaluadas fueron: (a) potencial de recuperación (PR) utilizando la escala de Beekman y Bouma, (1986), se evaluó a los 16 días de déficit hídrico y a las 24 horas después de la rehidratación; (b) el contenido relativo de agua (CRA) mediante la metodología utilizada por Ekanayake (1993), se evaluó a los 13 y 16 días del déficit hídrico; (c) promedio geométrico del rendimiento (PGR) el cual relaciona los rendimientos bajo condiciones de estrés y no estrés, mediante la raíz cuadrada del producto de los dos rendimientos (Falconí, 2005); (d) potencial hídrico (Ψ_h) mediante el uso de la cámara de presión Scholander (Fernández *et al.*, 2003); (e) número de tubérculos por planta (NTP) y (f) rendimiento por planta (RP) (Cuesta *et al.*, 2015).

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño de parcela dividida con tres repeticiones, la parcela grande fue el factor déficit hídrico y la subparcela los genotipos. Para la evaluación del PGR se utilizó un diseño de bloque completos al azar con tres repeticiones. Para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5% para el factor genotipos (G) y para la interacción genotipos por déficit hídrico (G x E). Se utilizó el programa R para el análisis (R Core Team, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CRA a los 13 y 16 días de déficit hídrico

El análisis de la varianza, para CRA a los 13 y 16 días de déficit hídrico estableció diferencias significativas al 1% de probabilidad para déficit hídrico, genotipos y la interacción genotipos por déficit hídrico.

Para el factor genotipos a los 13 días de déficit hídrico, las variedades INIAP Josefina, INIAP Estela y los clones 11-9-186, 11-9-12, 11-9-172, 11-9-64 con un valor superior al 66,98% de CRA se ubicaron en los primeros rangos, mientras que en el último rango se ubicó la variedad nativa Jubaleña con 54,74% de CRA (Tabla 1). Para el factor genotipos a los 16 días, las variedades INIAP Josefina, INIAP Estela y los clones 11-9-112, 11-9-172 se ubicaron en los

primeros rangos con valores superiores al 62,98% de CRA, mientras que en el último rango se ubicó la variedad nativa Jubaleña con 51,14% de CRA (Tabla 1). Para la interacción de genotipos por déficit hídrico a los 13 días, se ubicó en el primer rango a la variedad INIAP Josefina con 92,11% de CRA y en el último rango la variedad nativa Jubaleña con 30,63% de CRA (Tabla 1). Para la interacción de genotipos por déficit hídrico a los 16 días, las variedades INIAP Josefina e INIAP Estela se ubicaron en los primeros rangos con valores de 92,11 y 89,47% respectivamente. En el último rango se ubicó la variedad nativa Jubaleña con 23,43% de CRA (Tabla 1).

Tabla 1

Potencial de recuperación y prueba de Tukey al 5% para CRA para déficit hídrico en genotipos de papa en invernadero, EESC, Pichincha

Genotipos	PR (Escala)		CRA (%)					
	16 días	24 h	G	GxE	G	GxE		
	DH	después RH						13 días
			SDH CDH			SDH CDH		
INIAP Josefina	7	9	80,43 a ¹	92,11 a	68,75 ef	70,66 a	92,11 a	49,21 f
11-9-27	6	8	62,58 c-f	77,06 cde	48,10 g-j	58,44 b-f	77,06 cde	39,81 fg
11-9-64	6	8	66,99 bc	85,33 abc	48,64 g-j	61,30 bcd	85,33 abc	37,26 gh
11-9-8	6	8	55,84 ef	70,57 de	41,11 jkl	53,67 ef	70,57 de	36,76 gh
12-4-35	6	7	59,77 c-f	83,71 abc	35,83 kl	57,89 b-f	83,71 abc	32,06 g-j
INIAP Estela	6	8	71,88 b	89,47 ab	54,29 ghi	64,80 ab	89,47 ab	40,12 fg
11-9-1	5	7	64,17 bcd	78,52 b-e	49,83 g-j	57,36 b-f	78,52 b-e	36,21 gh
11-9-112	5	7	65,34 bcd	88,21 abc	42,46 i-l	63,01 bc	88,21 abc	37,81 fg
11-9-12	5	7	67,43 bc	77,01 cde	57,85 fg	56,07 c-f	77,01 cde	35,13 ghi
11-9-28	5	6	65,01 bcd	82,54 a-d	47,47 g-k	58,37 b-f	82,54 a-d	34,19 g-j
11-9-45	5	6	60,34 c-f	78,35 b-e	42,33 i-l	55,17 def	78,35 b-e	31,99 g-j
11-9-85	5	7	64,58 bcd	83,13 abc	46,02 g-k	58,44 b-f	83,13 abc	33,74 g-j
INIAP Catalina	5	7	64,55 bcd	82,18 a-d	46,92 g-k	58,88 b-e	82,18 a-d	35,59 gh
11-9-16	4	6	63,96 cd	82,90 abc	45,02 h-k	58,34 b-f	82,90 abc	33,78 g-j
12-4-145	4	6	65,04 bcd	83,40 abc	46,67 g-k	58,78 b-e	83,40 abc	34,17 g-j
11-10-3	3	5	64,42 bcd	83,08 abc	45,75 h-k	59,30 b-e	83,08 abc	35,52 gh
11-8-6	3	5	64,65 bcd	83,71 abc	45,58 h-k	59,21 b-e	83,71 abc	34,70 g-j
11-9-150	3	5	60,34 c-f	81,30 a-d	39,37 jkl	58,68 b-f	81,30 a-d	36,05 gh
11-9-186	3	6	67,49 bc	79,60 b-e	55,38 gh	59,86 b-e	79,60 b-e	40,12 fg
11-9-92	3	5	65,70 bcd	81,39 a-d	50,00 g-j	61,75 bcd	81,39 a-d	42,31 gh
Cacho blanco	3	5	64,81 bcd	82,70 abc	46,91 g-k	59,01 b-e	82,70 abc	35,31 gh
11-9-108	2	4	64,05 bcd	82,04 a-d	46,06 g-k	58,23 b-f	82,04 a-d	34,43 g-j
11-9-133	2	6	63,84 cd	85,76 abc	41,92 jkl	54,71 def	85,76 abc	23,66 ij
11-9-44	2	4	64,72 bcd	83,12 abc	46,32 g-k	58,99 b-e	83,12 abc	34,86 g-j
11-9-9	2	5	64,03 bcd	82,78 abc	45,28 h-k	59,51 b-e	82,78 abc	36,25 gh
11-9-90	2	5	65,23 bcd	83,24 abc	47,23 g-k	59,22 b-e	83,24 abc	35,21 ghi
11-9-94	2	5	63,44 cde	81,56 a-d	45,32 h-k	58,91 b-e	81,56 ad	36,25 gh
12-4-170	2	5	64,85 bcd	83,12 abc	46,58 g-k	58,95 b-e	83,12 abc	34,77 g-j
12-4-50	2	4	64,05 bcd	81,94 a-d	46,16 g-k	58,33 b-f	81,94 a-d	34,72 g-j
11-9-101	1	3	64,44 bcd	82,66 abc	46,23 g-k	59,88 b-e	82,66 abc	37,09 gh
11-9-106	1	3	64,06 bcd	87,91 abc	40,21 jkl	56,92 c-f	87,91 abc	25,93 hij
11-9-131	1	4	61,75 c-f	82,51 a-d	40,98 jkl	58,54 b-f	82,51 a-d	34,56 g-j
11-9-77	1	4	65,06 bcd	83,71 abc	46,40 g-k	60,23 b-e	83,71 abc	36,75 gh
12-4-173	1	3	63,27 cde	81,91 a-d	44,63 h-k	58,62 b-f	81,91 a-d	35,33 gh
Cacho negro	1	3	64,40 bcd	82,77 abc	46,02 g-k	59,14 b-e	82,77 abc	35,51 gh
DIACOL Capiro	1	3	63,58 cde	87,03 abc	40,12 jkl	58,96 b-e	87,03 abc	30,89 g-j
Jubaleña	1	3	54,74 f	78,84 b-e	30,63 l	51,14 f	78,84 b-e	23,43 j
11-9-172	0	2	67,20 bc	86,15 abc	48,25 g-j	62,99 bc	86,15 abc	39,83 fg
11-9-66	0	2	58,33 def	76,41 cde	40,24 jkl	53,54 ef	76,41 cde	30,66 g-j

¹ Letras diferentes indican diferencias significativas entre genotipos según la prueba de Tukey al 5%; DH=déficit hídrico; RH=rehidratación; G=factor genotipos; GxE= interacción genotipo por ambiente.

Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Shi *et al.*, (2015) en variedades mejoradas en campo y por Anithakumari *et al.*, (2012) en materiales diploides en invernadero que presentaron una disminución entre el 20 al 30% del CRA debido a la deficiencia hídrica. Los resultados indican que a pesar de existir una disminución del CRA a los 13 y 16 días de déficit hídrico en todos los genotipos, se presentaron variedades y clones que mostraron una respuesta de tolerancia con una menor disminución de pérdida de agua (Tabla 4). El CRA a los 13 y 16 días de déficit hídrico presentaron una considerable disminución de 46 y 35% respectivamente. Maralian *et al.*, (2014) en su investigación mostró una disminución del CRA del 69,70% por efectos del estrés hídrico en dos clones y una variedad, mientras Kebede *et al.*, (2019) en 52 clones y 8 variedades presentó una disminución en el CRA por el déficit hídrico entre el 56 al 76%. Según Van Loon (1981) y Rodríguez (2015) este parámetro fisiológico es uno de los indicadores más importantes para determinar la retención de agua en papa. El CRA está asociado con el RP la cual presentó una correlación significativa al 5%. Soltys-Kalina *et al.*, (2016) mostró una relación entre valores altos de CRA y la baja pérdida en rendimiento.

Potencial de recuperación al día 16 de déficit hídrico y 24 horas después de la rehidratación

Las variedades INIAP Josefina, INIAP Estela y los clones 11-9-64, 12-4-35, 11-9-8, 11-9-27 presentaron una mejor respuesta al día 16 de déficit hídrico ubicándose en la escala 6 y 7 con menos daño en la planta, mientras la variedad mejorada DIACOL-Capiro, las variedades nativas Cacho negro, Jubaleña y los clones 11-9-131, 11-9-106, 11-9-101, 11-9-77, 12-4-173, 11-9-66, 11-9-172 se ubicaron en la escala 0 y 1 con los mayores daños en la planta (Tabla 1). Las variedades INIAP Josefina, INIAP Estela y los clones 11-9-27, 11-9-64, 11-9-8 mostraron una mejor recuperación después de las 24 horas de la rehidratación, se ubicaron en las escalas 8 y 9, mientras las variedades DIACOL Capiro, Jubaleña, Cacho negro y los clones 12-4-173, 11-9-106, 11-9-101, 11-9-172, 11-9-66 presentaron la menor recuperación después de las 24 horas de rehidratación, se ubicaron en las escalas 2 y 3 (Tabla 1).

Existieron genotipos que mostraron un menor daño en la planta al evaluar el potencial de recuperación después de 16 días de déficit hídrico y una mayor recuperación luego de 24 horas después de la rehidratación de las plantas en las variedades INIAP Josefina e INIAP Estela (Tabla 4). Peña, (2013) en clones y variedades mostró similares resultados en las variedades INIAP Estela y en la variedad INIAP Josefina. Gabriel *et al.*, (2011) en variedades mejoradas y nativas de Bolivia mostraron síntomas de daño similares por déficit hídrico visibles entre los 6 a los 18 días de ser sometidos al estrés. Según Beekman y Bouma, (1986) concluyen que el potencial

de recuperación después de un periodo severo de sequía bajo condiciones de invernadero permite identificar materiales con tolerancia al déficit hídrico. Sin embargo, mencionan que a veces no existe consistencia con los resultados de campo, por lo cual es recomendable evaluar los clones seleccionados en condiciones de campo.

Número de tubérculos por planta.

El análisis de la varianza estableció diferencias significativas al 1% de probabilidad para déficit hídrico, genotipos y para la interacción genotipos por déficit hídrico.

Para genotipos, estableció 8 rangos de significancia estadística, la variedad INIAP Josefina y los clones 11-9-108 y 12-4-145 se ubicaron en los primeros rangos con más de 10 tubérculos por planta mientras en el último rango estuvo el clon 12-4-173 con 3 tubérculos por planta (Tabla 2).

La interacción genotipos por déficit hídrico, estableció 10 rangos de significación estadística en el primer rango se ubicaron las variedades INIAP Josefina CDH y Cacho negro SDH con 15 tubérculos por planta y en el último rango se ubicó el clon 12-4-35 CDH con 2 tubérculos por planta (Tabla 2).

La variación en el NTP en el factor genotipos estuvo entre 3 a 11 tubérculos por planta, mientras para GxE la variación CHD y SDH estuvo entre 2 a 15 tubérculos. La mayoría de genotipos mostraron una reducción en el NTP debido a la deficiencia hídrica. Sin embargo, las variedades INIAP Josefina, INIAP Catalina y los clones 11-9-133, 11-9-112, 11-9-16, 11-9-66 y 11-9-150 incrementaron el NTP. Lahlou *et al.*, (2003) mostró resultados similares al evaluar variedades en campo e invernadero, en campo obtuvo una reducción 7 al 27% y en invernadero entre el 29 al 41% en el NTP por efecto del déficit hídrico. Según Mackerron y Jefferies (1996), Mamani y Ledent (2014) y Cavagnaro *et al.*, (1971) mencionan que el NTP se ve afectado por la sequía cuando ocurre al inicio de tuberización. Tourneux *et al.*, (2003) evaluó cuatro variedades nativas (Waycha, Luky, Ajahuri, Janko Choquepito) un clon (CIP 382171.10), una variedad mejorada (Alpha) con diferente precocidad, observó que las variedades precoces no se vieron afectadas en el NTP, pero las variedades tardías presentaron una reducción en el NTP por efectos de la sequía. Deblonde y Ledent, (2001) en su estudio sobre el efecto de la sequía en variedades mejoradas (Eersteling, Jaerla, Claustar, Bintje, Krostar, Nicola, Désirée) en campo presentó una disminución del NTP del 17%.

Rendimiento por planta

El análisis de la varianza para RP determinó diferencias significativas al 1% de probabilidad para déficit hídrico, genotipos y la interacción genotipos por déficit hídrico.

Para el factor genotipos estableció 10 rangos de significancia estadística, la variedad INIAP Josefina y los clones 11-9-85 y 11-9-45 se ubicaron en los

primeros rangos de significación con rendimientos superiores a 132 g/planta y en el último rango se encontró el clon 11-9-150 con 19,65 g/planta (Tabla 2).

La interacción genotipos por déficit hídrico estableció 17 rangos de significancia estadística, los clones 11-9-85, 12-4-50 y 11-10-3 SDH se ubicaron en los primeros rangos con valores superiores a 192 g/planta, mientras el clon 12-4-35 se ubicó en el último rango con 5,50 g/planta. (Tabla 2).

El rendimiento de los genotipos con CDH se redujo considerablemente a más de la mitad comparado con el SDH como es el caso de las variedades Cacho Blanco, Jubaleña, DIACOL Capiro y clones como 11-9-28, 12-4-50, 11-9-85 entre otros. Rahimi (2014) tuvo una reducción similar del rendimiento por efecto del déficit hídrico en seis variedades mejoradas de papa (Agría, Asterix, Serenad, Draga, Diamant, Cosima) en campo. Lahlou *et al.*, (2003) en cuatro variedades de

papa (Remarka, Désirée, Nicola, Monalisa) obtuvo una reducción en el RP entre el 11 al 44% en campo y del 40 al 53% en invernadero por efecto de la deficiencia hídrica. Esta reducción puede deberse a que el déficit hídrico afecta al crecimiento de la planta, se reduce la tasa fotosintética lo que se ve reflejado en el rendimiento según lo describe Mafakheri *et al.*, (2010).

Promedio geométrico del rendimiento

Al realizar el análisis de varianza para el PGR se estableció diferencias significativas al 1% de probabilidad para genotipos.

El PGR estableció 8 rangos de significación estadística ubicándose en los primeros rangos la variedad INIAP Josefina y los clones 11-9-45 y 11-9-85, con valores de 128,94, 130,15 y 122,54 respectivamente. En el último rango se encontró el clon 12-4-35 con 19,00 (Tabla 2).

Tabla 2

Prueba de Tukey al 5% para NTP, RP y PGR para déficit hídrico en genotipos de papa en invernadero, EESC, Pichincha

Genotipos	NTP			RP (g/planta)			PGR
	G	G x E		G	GxE		
		SDH	CDH		SDH	CDH	
INIAP Josefina	11,17 a ¹	7,33 b-j	15,00 a	132,96 abc	142,40 b-g	123,52 c-j	128,94 a
11-9-108	10,83 ab	11,67 a-d	10,00 a-g	55,35 e-j	64,67 f-q	46,03 i-q	53,47 c-h
12-4-145	10,33 abc	13,67 ab	7,00 b-j	49,45 f-j	71,43 e-q	27,47 m-q	44,23 d-h
11-9-92	9,50 a-d	9,67 a-g	9,33 a-h	77,45 c-i	126,50 c-i	28,40 m-q	57,11 c-f
11-9-133	9,50 a-d	7,67 b-j	11,33 a-e	71,25 e-j	87,37 e-q	55,13 h-q	69,18 cde
12-4-170	9,50 a-d	12,33 abc	6,67 b-j	63,23 e-j	89,87 e-q	36,60 k-q	53,90 c-g
Cacho negro	9,17 a-d	15,00 a	3,33 g-j	68,07 e-j	110,10 c-m	26,03 m-q	51,69 c-h
11-10-3	8,83 a-e	11,33 a-e	6,33 c-j	108,00 a-e	192,20 abc	23,80 n-q	66,01 cde
11-9-77	8,50 a-f	10,00 a-g	7,00 b-j	68,15 e-j	75,30 e-q	61,00 g-q	67,74 cde
11-9-112	8,50 a-f	7,33 b-j	9,67 a-g	73,05 e-j	114,20 c-l	31,90 l-q	60,30 c-f
INIAP Catalina	8,33 a-g	7,33 b-j	9,33 a-h	58,15 e-j	78,03 e-q	38,27 k-q	53,65 c-h
11-9-44	8,33 a-g	8,67 a-j	8,00 a-j	68,68 e-j	100,53 d-p	36,83 k-q	60,82 c-f
11-9-172	8,33 a-g	10,67 a-f	6,00 c-j	94,62 b-g	151,30 b-e	37,93 k-q	75,31 cd
11-9-101	7,50 a-h	9,00 a-i	6,00 c-j	80,18 c-i	133,67 c-h	26,70 m-q	59,67 c-f
11-9-186	7,33 a-h	9,67 a-g	5,00 d-j	35,72 ij	42,07 i-q	29,37 l-q	34,58 e-h
11-9-27	7,33 a-h	8,00 a-j	6,67 b-j	51,53 f-j	70,40 e-q	32,67 l-q	45,87 d-h
11-9-8	7,33 a-h	8,00 a-j	6,67 b-j	39,36 g-j	54,50 h-q	24,21 n-q	35,81 e-h
Cacho blanco	7,17 a-h	7,33 b-j	7,00 b-j	54,05 e-j	78,23 e-q	29,87 l-q	45,64 d-h
11-9-106	7,00 a-h	7,67 b-j	6,33 c-j	70,75 e-j	95,37 d-p	46,13 i-q	66,13 cde
11-9-16	6,67 a-h	6,00 c-j	7,33 b-j	56,78 e-j	81,33 e-q	32,23 l-q	49,85 d-h
Jubaleña	6,67 a-h	8,33 a-j	5,00 d-j	29,68 ij	42,63 i-q	16,73 pq	26,69 fgh
11-8-6	6,50 a-h	8,33 a-j	4,67 d-j	60,35 e-j	92,63 e-p	28,07 m-q	49,90 d-h
DIACOL Capiro	6,50 a-h	8,67 a-j	4,33 e-j	97,08 b-f	148,77 b-f	45,40 i-q	81,93 cd
11-9-94	6,33 b-h	7,33 b-j	5,33 c-j	82,20 c-i	106,07 d-n	58,33 g-q	75,10 cd
11-9-12	6,33 b-h	6,33 c-j	6,33 c-j	72,13 e-j	93,83 d-p	50,43 h-q	68,75 cde
11-9-66	5,83 c-h	5,00 d-j	6,67 b-j	76,03 e-i	87,33 e-q	64,73 f-q	74,98 cd
11-9-1	5,50 d-h	7,00 b-j	4,00 f-j	60,92 e-j	95,30 d-p	26,53 m-q	46,54 d-h
11-9-131	5,50 d-h	7,67 b-j	3,33 g-j	50,93 f-j	72,97 e-q	28,90 m-q	45,64 d-h
11-9-9	5,50 d-h	8,00 a-j	3,00 g-j	63,82 e-j	100,60 d-p	27,03 m-q	50,44 d-h
11-9-28	5,33 d-h	7,00 b-j	3,67 f-j	91,45 b-h	148,27 b-f	34,63 k-q	71,48 cde
12-4-50	5,33 d-h	7,33 b-j	3,33 g-j	132,53 a-d	225,27 ab	39,80 j-q	90,76 bc
11-9-85	5,17 d-h	5,67 c-j	4,67 d-j	153,22 a	244,40 a	62,00 g-q	122,54 ab
11-9-64	5,00 d-h	6,00 c-j	4,00 f-j	77,22 di	103,90 d-o	50,53 h-q	72,10 cde
12-4-35	4,17 e-h	6,67 b-j	1,67 j	36,43 hij	67,37 e-q	5,50 q	19,00 h
11-9-45	4,17 e-h	5,33 c-j	3,00 g-j	139,30 ab	178,50 a-d	100,10 d-p	130,15 a
11-9-90	4,17 e-h	4,67 d-j	3,67 f-j	79,83 c-i	125,60 c-i	34,07 k-q	64,18 c-f
11-9-150	4,00 fgh	3,00 g-j	5,00 d-j	19,65 j	20,80 opq	18,50 pq	19,60 gh
INIAP Estela	3,67 gh	5,00 d-j	2,33 hij	80,10 c-i	118,27 c-k	41,93 i-q	68,87 cde
12-4-173	3,17 h	4,33 e-j	2,00 ij	39,67 g-j	56,20 h-q	23,13 n-q	34,26 e-h

¹ Letras diferentes indican diferencias significativas entre genotipos según la prueba de Tukey al 5%; SDH= sin déficit hídrico; CDH= con déficit hídrico; G= factor genotipos; GxE= interacción genotipos x déficit hídrico.

En esta investigación se encontró genotipos que a pesar del efecto del estrés hídrico su rendimiento fue menos afectado mostrando una respuesta de tolerancia a este factor abiótico (Tabla 4). Hinojosa, (2009) y Ramirez y Kelly (1998) señalan que la selección más eficiente para determinar tolerancia a la sequía está basada en identificar los genotipos con el más alto PGR. La Correlación significativa al 1% obtenida entre PGR y RP en esta investigación también la obtuvo Rahimi, (2014) mostrando una correlación significativa al 5% entre estas variables al evaluar seis variedades mejoradas en campo, mientras Cabello y Monneveux, (2013) presentó una correlación significativa al 1% al estudiar variedades mejoradas, nativas y clones.

Potencial Hídrico

Los genotipos SDH mostraron poca variación de Ψ_h foliar entre -1,6 a -4,5 bares con un promedio general de -2,95 bares (Figura 1a), esta respuesta es debido al buen contenido hídrico en el suelo, que reduce el esfuerzo en la planta para absorber agua, mientras los genotipos CDH mostraron una mayor variación con valores que fluctuaron entre -6,8 a -16,0 bares y un promedio general de -10,05 bares (Figura 1b), esto se debe al poco contenido agua existente en el suelo, el

cual afecta la absorción de agua y hace que la planta realice mayor esfuerzo en la absorción y conducción del agua. Las variedades INIAP Catalina, INIAP Estela y los clones 11-9-66, 11-9-85, 11-9-28 y 11-9-92 fueron afectados en menor proporción por la sequía (CDH) con valores del Ψ_h foliar entre -6,80 a -8,0 bares (Figura,1b) mientras SDH presentaron un Ψ_h foliar entre -1,80 a -4,45 bares (Figura 1a). Los clones 11-9-45, 11-9-77, 11-9-64, 11-9-16, 11-10-3 y las variedades Cacho Negro, Cacho Blanco y Jubaleña CDH fueron los más afectados con un Ψ_h foliar que oscilo entre -12 a -16 bares (Figura 1b).

El Ψ_h de algunos genotipos superaron al testigo tolerante (INIAP-Josefina) esto nos indica que existen clones con una respuesta de tolerancia a la deficiencia de agua (Tabla 4). Los valores obtenidos en esta investigación (Figura 1b) son similares a otras investigaciones que mostraron el Ψ_h con déficit hídrico entre -7 a -20 bares en variedades mejoradas, nativas y clones en invernadero (Corrales, 2019; Díaz, 2016; Rodríguez, 2015). El Ψ_h de genotipos con valores superiores a -11 bares cuando las plantas fueron sometidas a déficit hídrico es un parámetro de estrés. Según Vos y Haverkort (2007) y Liu *et al.* (2006) con valores superiores a -20 bares de Ψ_h , es un indicador de un estrés severo.

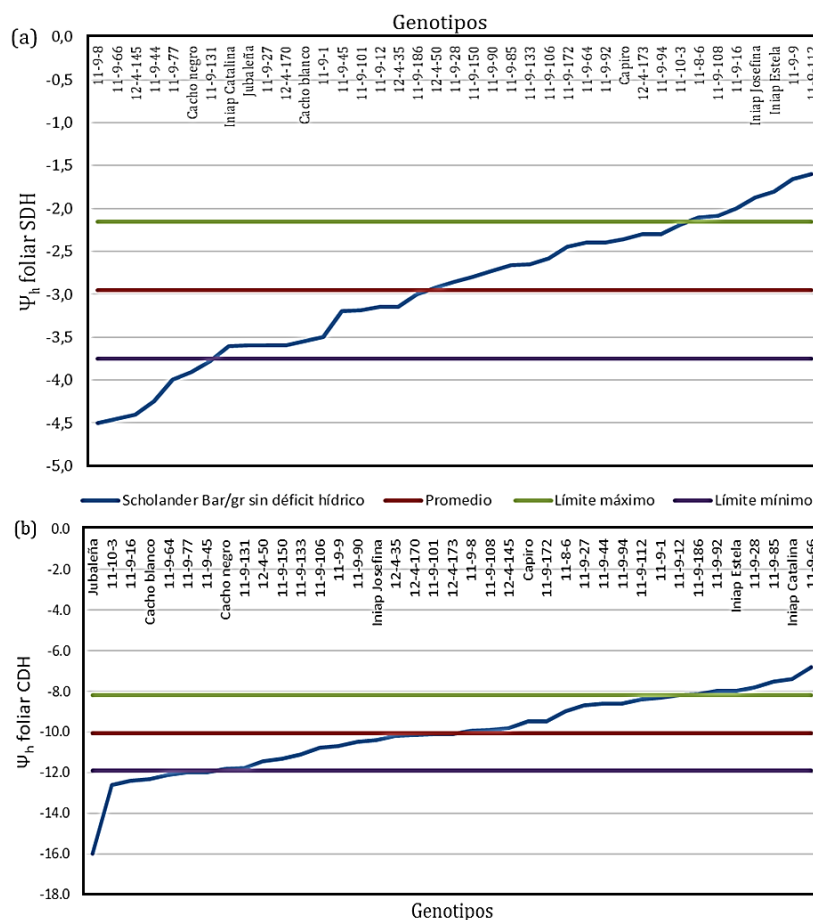


Figura 1. Potencial hídrico foliar sin déficit hídrico (a), con déficit hídrico (b) en genotipos de papa en invernadero, EESC, Pichincha.

Análisis de Correlación

De acuerdo al coeficiente de correlación de Pearson el CRA a los 13 días de déficit hídrico estuvo asociada con el PR, RP, PGR y Ψ_h SDH con una correlación significativa al 5% y el CRA a los 16 días de déficit hídrico mostró una correlación del 1% con Ψ_h CDH. Además, se encontró una correlación significativa al 1% entre RP y PGR (Tabla 3).

Los parámetros fisiológicos (Ψ_h , PR, CRA) y los componentes de rendimiento (NTP, RP, PGR)

permitieron identificar genotipos de papa con respuesta de tolerancia al déficit hídrico. Las variedades INIAP Josefina e INIAP Estela mostraron tolerancia al déficit hídrico en 7 y 5 variables evaluadas respectivamente. Se identificaron 15 clones que mostraron respuesta de tolerancia al déficit hídrico en una o más variables evaluadas (Tabla 4).

Tabla 3

Correlación de Pearson para las variables evaluadas en genotipos de papa bajo déficit hídrico en invernadero, EESC, Pichincha

	PR 16	PR 24	CRA 13	CRA 16	NTP	RP	PGR	Ψ_h CDH	Ψ_h SDH
PR 16	1,000								
PR 24	0,960**	1,000							
CRA 13	0,300	0,350*	1,000						
CRA 16	0,270	0,290	0,880**	1,000					
NTP	-0,090	-0,020	0,310	0,250	1,000				
RP	0,130	0,080	0,410*	0,310	0,020	1,000			
PGR	0,160	0,140	0,460*	0,310	0,060	0,950**	1,000		
Ψ_h CDH	0,240	0,230	0,260	0,210	0,004	0,130	0,150	1,000	
Ψ_h SDH	0,130	0,150	0,460*	0,510**	-0,110	0,290	0,240	0,020	1,000

**Significativo al 1%; *Significativo al 5%; PR16= potencial de recuperación a los 16 días del déficit hídrico; PR24= potencial de recuperación a las 24 horas de rehidratación; CRA 13= Contenido Relativo 13 días de déficit hídrico; CRA 16= Contenido Relativo 16 días de déficit hídrico; NTP= número de tubérculos por planta; RP= rendimiento por planta; PGR= promedio geométrico del rendimiento; Ψ_h CDH= potencial hídrico con déficit hídrico; Ψ_h SDH= potencial hídrico sin déficit hídrico.

Tabla 4

Resumen, genotipos con respuesta de tolerancia al estrés hídrico en las variables evaluadas en invernadero, EESC, Pichincha

Genotipos	Ψ_h CDH	PR16	PR24	CRA 13	CRA 16	NTP	RP	PGR
INIAP Josefina	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
INIAP Estela	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-
11-9-85	✓	-	-	-	-	-	✓	✓
11-9-92	✓	-	-	-	-	-	-	-
11-9-64	-	✓	✓	✓	-	-	-	-
11-9-27	-	✓	✓	-	-	-	-	-
11-9-8	-	✓	✓	-	-	-	-	-
12-4-35	-	✓	-	-	-	-	-	-
11-9-172	-	-	-	✓	✓	-	-	-
11-9-45	-	-	-	-	-	-	✓	✓
11-9-66	✓	-	-	-	-	-	-	-
11-9-28	✓	-	-	-	-	-	-	-
11-9-12	-	-	-	✓	-	-	-	-
11-9-186	-	-	-	✓	-	-	-	-
11-9-112	-	-	-	-	✓	-	-	-
11-9-108	-	-	-	-	-	✓	-	-
12-4-145	-	-	-	-	-	✓	-	-

✓= respuesta al estrés hídrico; - = ninguna respuesta al estrés hídrico; PR16= potencial de recuperación a los 16 días del déficit hídrico; PR24= potencial de recuperación a las 24 horas de rehidratación; CRA 13= Contenido Relativo 13 días de déficit hídrico; CRA 16= Contenido Relativo 16 días de déficit hídrico; NTP= número de tubérculos por planta; RP= rendimiento por planta; PGR= promedio geométrico del rendimiento; Ψ_h CDH= potencial hídrico con déficit hídrico.

CONCLUSIONES

Los genotipos mostraron variación en la respuesta al déficit hídrico en las variables evaluadas.

Se ha podido identificar 15 clones con una respuesta al déficit hídrico que continuarán el proceso de evaluación dentro del esquema de mejoramiento establecido.

El contenido relativo de agua, el potencial hídrico y el rendimiento por planta son parámetros fisiológicos y agronómicos que pueden usarse en la selección de materiales con tolerancia al déficit hídrico.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto PAPA CLIMA - Marker assisted selection for potato germplasm adapted to biotic and abiotic stresses caused by global climate change. Proyecto de la Tercera Convocatoria del Fondo de Distribución de Beneficios de FAO - The International Treaty of Plant

Genetic Resources for Food and Agriculture, with the financial assistance of the European Union. Los puntos de vista expresados en este artículo no deben ser tomados para reflejar la opinión oficial de la Unión Europea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adesina, O.; Thomas, B. 2020. Potential impacts of climate change on UK potato production. *International Journal of Environment and Climate Change* 10(4):39-52.
- Aliche, E.; Ootwijn, M.; Theeuwens, T.; Bachem, C.; Visser, R.; van der Linden, G. 2018. Drought response in field grown potatoes and the interactions between canopy growth and yield. *Agricultural Water Management* 206:20-30.
- Anithakumari, A.; Nataraja, K.; Visser, R.; van der Linden, C. 2012. Genetic dissection of drought tolerance and recovery potential by quantitative trait locus mapping of a diploid potato population. *Molecular Breeding* 30(3): 1413-1429.
- Beekman, A.; Bouma, W. 1986. A possible screening technique for drought tolerance in potato. In *Proceedings of an international seminar, Wageningen, Netherlands, 30-31 October 1985*.
- Cabello, R.; Monneveux, P. 2013. Comparison of yield based drought tolerance indices in improved varieties, genetic stocks and landraces of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Euphytica*. 193:147-156.
- Cavagnaro, J.; De Lis, B.; Tizio, R. 1971. Drought hardening of the potato plant as an after-effect of soil drought conditions at planting. *Potato Res.* 14: 181-192
- Cuesta, X.; Rivadeneira, J.; Yumisaca, F.; Carrera, E.; Monteros, C.; Reinoso, I. 2017. INIAP-Josefina: Nueva variedad de papa con tolerancia a la sequía. *Revista Latinoamericana de la Papa* 20(2): 39-54.
- Cuesta, X.; Rivadeneira, J.; Monteros, C. 2015. *Mejoramiento Genético de papa: Conceptos, procedimientos, metodologías y protocolos*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Quito, Ecuador. 62 pp.
- Corrales, E. 2019. *Evaluación del rendimiento y respuesta fisiológicas al estrés de sequía en veintisiete genotipos de papa (Solanum tuberosum)*. Tesis pregrado. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador. 92 pp.
- Deblonde, P.; Ledent, J. 2001. Effects of moderate drought conditions on Green leaf number, stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars. *European Journal of Agronomy* 14: 31-41.
- Díaz, P. 2016. *Evaluación de la tolerancia al estrés hídrico en genotipos de papa criolla (Solanum phureja Juz et Buk)*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Medellín, Colombia. 102 pp.
- Ekanayake, I. 1993. *Evaluación de Resistencia a la sequía en genotipos de papa y batata (camote)*. Guía de investigación CIP 19. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 16 pp.
- Elliott, J.; Deryng, D.; Muller, C.; Frieler, K.; Konzmann, M.; Gerten, D.; Glotter, M.; Florke, M.; Wadah, I.; Besta, N.; Eisner, S.; Feketei, B.; Folberth, C.; Foster, I.; Gosling, S.; Haddeland, I.; Khabarovm, N.; Ludwig, F.; Masakio, Y.; Olinp, S.; Rosenzweig, C.; Ruanec, A.; Satoh, Y.; Schimds, E.; Stacket, T.; Tangu, Q.; Wisse, D. 2014. Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(9): 3239-3244.
- Falconí, E. 2005. *Identification of drought resistance in large seeded common bean genotypes*. Tesis de maestría. Submitted to Michigan State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. 134 pp.
- FAO-Food and Agriculture Organization. 2018. *El futuro de la alimentación y la agricultura: Vías alternativas hacia el 2050*. Versión resumida. Rome. 64 pp.
- FAO-Food and Agriculture Organization. 2019. *FAOSTAT Statistics Database 2018*. Consultado abril del 2020. Disponible en: [http://www.fao.org/faostat/en/#data].
- Feller, U. 2016. Drought stress and carbon assimilation in a warming climate: Reversible and irreversible impacts. *J. Plant Physiol.* 20(203): 84-94.
- Fernández, M.; Lorenzo, P.; Cuadrado, I. 2003. *Mejora en la eficiencia del uso del agua en cultivos protegidos*. Ed. Varios-Cúspide Santiago, Chile. 562 pp.
- Gabriel, J.; Parco, P.; Angulo, A.; Magne, J.; La Torre, J.; Mamani, P. 2011. Resistencia genética a estrés hídrico por sequía en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero. *Revista Latinoamericana de la Papa* 16(2): 173-208.
- George, T.S.; Taylor, M.A.; Dodd, I.C. 2018. *Climate Change and Consequences for Potato Production: a Review of Tolerance to Emerging Abiotic Stress*. *Potato Res.* 60: 239-268.
- Hinojosa, L. 2009. *Estudio del comportamiento agronómico de genotipos de papa (Solanum spp.) bajo estrés hídrico en invernadero*. Tesis de pregrado. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador. 105 pp.
- INAMHI-Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. 2020. *Datos meteorológicos*. Disponible en: <https://www.gob.ec/inamhi/tramites/emision-informacion-estadistica-meteorologica-hidrologica-sector-publico-academico>
- INEC-Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2019. *Encuesta y superficie y producción agropecuaria continua*. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Kebede, Z.; Mekbib, F.; Abebe, T.; Asfaw, A. 2019. Evaluation of leaf-water relation traits, as selection criterion for developing drought resistant potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. *Review of Plant Studies* 6(1): 1-10.
- Lahlou, O.; Ouattar, S.; Ledent, J. 2003. The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. *Agronomie, EDP Sciences* 23(3): 257-268.
- Liu, F.; Shahnazari, A.; Andersen, M.; Jacobsen, S.; Jensen, C. 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Sci Horticulture-Amsterdam* 109: 113-117.
- Mackerron, D.; Jefferies, R. 1996. The influence of early moisture stress on tuber numbers in potato. *Potato Res.* 29: 299-321.
- Mafakheri, A.; Siosemardeh, A.; Bahramnejad, B.; Struik, P.; Sohrabi, Y. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in Three chickpea cultivars. *Aust. J. Crop Sci.* 4: 580-585.
- Mamani, R.; Ledent, J. 2014. Efecto de la sequía en la morfología, crecimiento y productividad de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. *Revista Latinoamericana de la Papa*. 18 (1): 25-76.
- Maralian, H.; Nasrollahzadeh, S.; Raiyi, Y.; Hassanpanah, D. 2014. Responses of potato genotypes to limited irrigation. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 5: 13-19.
- MAG - Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2019. *"Sistema de Información Pública Agropecuaria"*. Disponible en: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/papa>
- Monteros, C.; Yumisaca, F.; Andrade, J.; Reinoso, I. 2011. *Papas nativas de la sierra centro y norte del Ecuador. Catálogo etnobotánico, morfológico, agronómico y de calidad*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP, Centro Internacional de la Papa - CIP. Quito, Ecuador. 144 pp.
- Naresh Kumar, S.; Govindkrishnan, P.; Swarooparani, D.; Nitin, C.; Surabhi, J.; Aggarwal, P. 2015. Assessment of the impact of climate change on potato and potential adaptation gains in the Indo-Gangetic Plains of India. *Int. J. Plant Prod.* 9: 151-169.

- Peña, R. 2013. Evaluación agronómica de seis genotipos de papa (*Solanum* spp.) con tolerancia al déficit hídrico. Tesis de pregrado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la Facultad de Recursos Naturales. Riobamba, Ecuador. 155 pp.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.r-project.org/index.html>
- Rahimi, G. 2014. Determining effects of irrigation stress on growth and yield of potato cultivars in Ardabil cold region. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)* 4(4): 318-326.
- Ramirez, P.; Kelly J. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99: 127-136.
- Rodríguez, L. 2015. Caracterización de la respuesta fisiológica de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo condiciones de estrés por déficit hídrico. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Bogotá, Colombia. 163 pp.
- Romero, A.; Alarcón, A.; Valbuena, R.; Galeano, C. 2017. Physiological assessment of water stress in potato using spectral information. *Front. Plant Sci.* 8: 1608.
- Rudack, K.; Seddig, S.; Sprenger, S.; Köhl, K.; Uptmoor, R.; Ordon, F. 2017. Drought stress-induced changes in starch yield and physiological traits in potato. *J Agro Crop Sci.* 203: 494-505.
- Shi, S.; Fan, M.; Iwama, K.; Li, F.; Zhang, Z.; Jia, L. 2015. Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. *International Journal of Plant Production* 9(2): 305-320.
- Soltys-Kalina, D.; Plich, J.; Strzelczyk-Zyta, D.; Sliwka, J.; Marczewski, W. 2016. The effect of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a half-sib family of "Katahdin" derived potato cultivars. *Breeding Science* 66(2): 328-331.
- Tourneux, C.; Devaux, A.; Camacho, M.R.; Mamani, P.; Ledent, J.F. 2003. Effects of water shortage on six potato genotypes in the highlands of Bolivia (I): Morphological parameters, growth and yield. *Agronomie* 23: 169-179.
- UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2020. The United Nations World Water Development Report 2020. 219 pp.
- Van Loon, C. 1981. The effect of water stress on potato growth, development and yield. *Am Potato J.* 58: 51-69.
- Vos, J.; Haverkort, A. 2007. Water availability and potato crop performance. In: Vreugdenhil (ed) *Potato biology and biotechnology: Advances and perspectives*, 1st Edn. Elsevier, Italy, pp 333-351.
- Zhang, H.; Xu, F.; Wu, Y.; Hu, H.; Dai, X. 2017. Progress of potato staple food research and industry development in China. *Journal of integrative agriculture* 16(12): 2924-2932.