

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Evaluación de las respuestas fisiológicas y daño foliar bajo el estrés por calor
en veintisiete genotipos de papa. (*Solanum tuberosum*)**

Renato Fernando Martínez Quintero

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de

Ingeniero en Agroempresas.

Quito, 22 de julio del 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

USFQ

COLEGIO CIENCIAS E INGENIERÍAS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**Evaluación de las respuestas fisiológicas y daño foliar bajo el estrés por calor
en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*).**

Trabajo de integración curricular

Renato Fernando Martínez Quintero

Nombre del Profesor, título académico:

Antonio León Reyes; Ph.D.

Firma del profesor:

Quito, 22 de julio del 2020

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Renato Fernando Martínez Quintero

Código: 00134368

Cédula de Identidad: 0105267264

Lugar y fecha: Quito, julio del 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN:

La papa (*Solanum tuberosum*) es un alimento milenario que se cultiva aproximadamente en 150 países. Alrededor del 25% de las pérdidas en el rendimiento se dan por cambios climáticos durante su fase de cultivo. Se realizó esta investigación como parte del proyecto papa de la FAO denominado “Marker assisted selection for potato germplasm adapted to biotic and abiotic stresses caused by global climate change”. El objetivo del proyecto fue determinar genotipos tolerantes a diferentes estreses bióticos y abióticos en miras del desarrollo de nuevas variedades dentro del banco genético del INIAP.

Esta investigación buscó determinar las respuestas al estrés por calor de 27 genotipos de papa (*Solanum tuberosum*). Se realizó una selección de los mejores genotipos estandarizado la producción obtenida en macetas y el daño foliar causado en el estrés por calor, en donde se determinó que los genotipos que tuvieron mayor nivel de tolerancia fueron: 11-9-133, Fri papa, Leona Negra, Raymipapa, y los genotipos que tuvieron menor nivel de tolerancia fueron: 11-8-6, 11-9-106, 11-9-112, 11-9-27, 11-9-66, Carolina, 14-9-56. Mostrando que los genotipos tolerantes tienen un mayor daño por fuga de electrolitos; pero cuando no tienen tolerancia pierden electrolitos de tal manera que sus valores son negativos. Por último, se estimó los valores de correlación de Pearson en donde se comparó la variable rendimiento en macetas sometidos al estrés por calor versus las siguientes variables: Fuga de electrolitos, conductancia estomática, fluorescencia de la clorofila, contenido de clorofila y rendimiento sin estrés; en donde se demostró que las variables fuga de electrolitos y rendimiento en macetas sin estrés; tienen diferencia estadística.

Palabras clave: Correlaciones, Genotipos, Papa, Parámetros fisiológicos, Rendimiento.

ABSTRACT:

The potato (*Solanum Tuberosum*) is a millennial food nourishment which is grown in approximately 150 countries. It has a 25% of losses as consequence of the climate change during the farming phase. This research was part of the potatoes project called “Marker assisted selection for potato germoplasm adapted to biotic and abiotic stresses caused by global climate change”, conducted by FAO. It’s objective was to recognize the tolerant genotypes to different biotic and abiotic stresses, with the final purpose of developing new varieties within the INIAP genetic bank.

This research seeks to determinate the heat stress responses of 27 potato genotypes (*Solanum tuberosum*). There was a selection process of the best genotypes standardized depending of the production obtained in pots and the foliar damage caused in heat stress, where it was determined that the genotypes with the highest tolerance level were: 11-9-133, Fripapa, Leona Negra, Raymipapa, and the genotypes with the lowest tolerance level were: 11-8- 6, 11-9-106, 11-9-112, 11-9-27, 11-9-66, Carolina, 14-9-56. Showing that tolerant genotypes have greater damage as a consequence of the electrolyte leakage; but when they do not have tolerance they lose electrolytes in such a way that their values are negative. Finally, Pearson's correlation values were estimated comparing the variable of yield in pots submitted to heat stress versus these following variables: electrolyte leakage, stomatal conductance, chlorophyll fluorescence, chlorophyll content and performance without stress. As a result, it was demonstrated the variables electrolyte leakage and performance, have different stadistic.

Keywords: The Pearson Correlations, Genotypes, Potato, Physiological Parameters and Yields.

TABLA DE CONTENIDO:

I. INTRODUCCIÓN:	13
1. Antecedentes:	13
2. Justificación:.....	15
II. MARCO TEÓRICO:	16
1. Manejo agronómico de papa	16
2. Factores abióticos en papa:.....	17
2.1. Temperatura:	17
2.2. Heladas:.....	18
2.3. Sequía:.....	18
2.4. Suelo:	18
2.5. Foto período:	19
3. Genotipos en papa:	19
3.1. Variedades Nativas:	19
3.2. Variedades Comerciales o Liberadas:	20
3.3. Códigos genéticos:	21
4. Tolerancia a altas temperaturas en papa:	21
III. OBJETIVO GENERAL:	22
IV. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	23
V. HIPÓTESIS:	23
VI. METODOLOGÍA	23
1. Material biológico:	23
2. Materiales y Equipos usados en el invernadero:	24

3. Equipos utilizados en campo:.....	25
4. Métodos de almacenamiento:.....	25
5. Manejo en Campo:	25
6. Manejo del experimento en invernadero.	26
7. Metodología de la Evaluación:.....	26
7.1. Multiplicación:.....	26
7.2. Evaluación de los genotipos.....	27
7.3. Respuestas fisiológicas.	28
7.4. Conductancia estomática:	29
7.5. Fluorescencia de clorofila:	30
7.6. Contenido de la clorofila:.....	31
8. Métodos Estadísticos.	31
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	32
1. Multiplicación de los 27 genotipos antes y después del estrés por calor.	32
1.1. Rendimiento en campo sin estrés.....	32
1.2. Rendimiento en trasplante a campo de los genotipos sometidos al estrés por calor.....	33
2. Evaluación de Tolerancia de los 27 genotipos después del estrés por calor. .	34
2.1. Rendimiento por planta en maceta sin estrés.	34
2.2. Rendimiento en macetas sometidos al estrés por calor.....	35
2.3. Porcentaje relativo del rendimiento de tubérculos de papa sin y después del estrés por calor.....	36
2.4. Evaluación del daño foliar mediante escala de daño visual.	37

3. Valoración de la tolerancia o susceptibilidad de los veintisiete genotipos	40
4. Respuestas fisiológicas.....	42
4.1. Índice de daño por Fuga de electrolitos.	42
4.2. Evaluación de la conductancia estomática.....	44
4.3. Evaluación de la fluorescencia de clorofila.	46
4.4. Evaluación del contenido de clorofila.....	49
5. Correlaciones de Pearson entre las variables de rendimiento y las fisiológicas.	53
VIII. CONCLUSIONES:.....	54
IX. RECOMENDACIONES:.....	55
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	55
XI. Anexos:	60
Anexo 1: ANOVA Rendimiento campo sin estrés.....	60
Anexo 2: ANOVA Rendimiento campo con estrés.....	61
Anexo 3: ANOVA Rendimiento macetas sin estrés.	61
Anexo 4: ANOVA Rendimiento macetas con estrés.	62
Anexo 5: ANOVA Daño visual con estrés.....	62
Anexo 6: ANOVA Conductancia estomática con estrés.....	62
Anexo 7: ANOVA Fuga de Electrolitos con estrés.....	63
Anexo 8: ANOVA Conductancia estomática con estrés.....	63
Anexo 9: ANOVA Fluorómetro con estrés.....	63

Tabla 1: División de bloques y genotipos de trabajo.....	24
Tabla 2: Ponderación usada para Rendimiento en maceta.....	40
Tabla 3: Ponderación usada para Escala de Daño Visual (Calor).....	41
Tabla 4: Valoración en los Veintisiete genotipos de papa mediante Escala de Daño Visual y Rendimiento Funda (R. Funda) obtenido después de someter las plantas a 38°C por 48 horas.	41
Tabla 5: Correlaciones rendimiento en macetas versus parámetros fisiológicos...	54

Índice de Figuras:

Figura 1: Rendimiento en maceta de veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin tratamiento por calor. La figura muestra la estimación del error para los 21 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). 32

Figura 2: Producción en Campo de veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sometidas al tratamiento por calor. La figura muestra la estimación del error para los 21 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). 33

Figura 3: Producción en maceta de veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin tratamiento por calor. La figura muestra la estimación del error para los 21 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). 35

Figura 4: Producción en Funda de veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sometidas al tratamiento por calor. La figura muestra la estimación del error para los 21 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). 36

Figura 5: Porcentaje de la producción en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin estrés (control) y con estrés por calor. 37

Figura 6: Determinación de los genotipos más tolerantes y más susceptibles según la escala de daño visual de Vega y Bamberg (1995). La figura muestra la estimación del

error para los 21 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 7: Porcentaje del índice de daño por la escala visual en veintisiete genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas. La figura muestra la estimación del error para los 21 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). 39

Figura 8: El porcentaje de daño visual en los veintisiete genotipos sometidos al estrés por calor a 38°C por 48 horas Valoración de la tolerancia o susceptibilidad de los veintisiete genotipos. 40

Figura 9: Índice de daño por fuga de electrolitos en veintisiete genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas. La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). 43

Figura 10: Conductancia estomática de 27 genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin ser sometidos al estrés por calor. La figura muestra la estimación del error para los 21 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). 44

Figura 11: Porcentaje relativo de conductancia estomática en 27 genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después del estrés por calor..... 45

Figura 12: Fluorescencia de clorofila (FV/O). La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). 46

Figura 13: Porcentaje relativo de fluorescencia en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después del estrés por calor..... 49

Figura 14: Contenido de clorofila en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin estrés por calor. La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). 50

Figura 15: Contenido de clorofila en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin estrés por calor. La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). 51

Figura 16: Porcentaje relativo del contenido de clorofila en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después del estrés por calor. La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($P < 0.05$). 52

I. INTRODUCCIÓN:

1. Antecedentes:

La papa, *Solanum tuberosum*, es uno de los cultivos más sembrados en 150 países y es el alimento básico a nivel mundial. Se producen 290 millones de toneladas métricas (ton.) y se cultivan 13.85 millones de hectáreas (ha) (Roman y Hurtado, 2002). Además, es una planta herbácea, perenne, caducifolia y tuberosa, con tallos semierectos que pueden llegar a un metro de altura (Andrade y Sherwood, 2002). Tiene hojas compuestas con 7 a 9 folios y de forma lanceolada, los cuales se dispersan de manera espiralada en los tallos y contienen tricomas en las hojas. La papa se ha cultivado por alrededor de cuatro mil años y conforma uno de los principales alimentos de varias culturas alrededor del mundo debido a sus contenidos de aminoácidos esenciales y vitamina C (Inostroza, 2009).

La papa tiene la diversidad genética más abundante sobre cualquier otra planta cultivada, los recursos genéticos de la papa están compuestos por variedades silvestres, especies autóctonas, clones, variedades locales, híbridos y plantas silvestres. Está compuesta aproximadamente por un 70% de especies diploides y el 30% restante está conformada principalmente por especies tetraploides, adicionalmente existe un número reducido de triploides y pentaploides (Magne y García, 2009), la diversidad genética provee de recursos utilizables para: la adaptación a diversos ambientes; la capacidad para tolerar extremos ambientales, el crecimiento en suelos pobres, la posibilidad de generar una mayor productividad y la capacidad de tolerancia a los factores bióticos y abióticos (Andrade y Sherwood, 2002).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2008), la semilla de este tubérculo es el insumo más costoso en la producción y representa del 30% al 50% de sus costos. En algunos países, en donde no hay un sistema oficial de suministro de semillas, los agricultores han creado sus propios métodos de

selección de los tubérculos semilla: se venden los tubérculos más grandes, consumen en casa las de tamaño medio y conservan las más pequeñas como futuro material de siembra.

Por otro lado, la papa es de la familia botánica de las solanácea, del género *Solanum* y la especie *Solanum tuberosum*. La papa pertenece a las dicotiledóneas herbácea con hábitos rastreros o erectos, los tallos son huecos o medulosos y sus nudos son sólidos por lo general verdes o rojo purpura, el follaje tiene una altura de 0,60 a 1,50 m. Las hojas son compuestas, pignadas, compuestas y alternadas. Las plantas cultivadas pueden vivir de cuatro a siete meses. Su forma de propagación se divide en la sexual por medio de semillas que poseen un sistema radicular muy fibroso con raíz principal; o la asexual se origina por medio de un tallo que emerge de un tubérculo usado como semilla y sus raíces son adventicias. Sus flores son pentámeras y sus sépalos pueden ser de variados colores, muchas variedades dejan caer las flores después de la fecundación. Fruto es una baya pequeña y carnosa que contiene semillas sexuales. Los tubérculos son tallos carnosos que se originan en el extremo del estolón y tienen yemas y ojos; posee una forma ovoide y su tamaño puede variar según las condiciones del cultivo y las variedades, pues poseen un alto contenido de almidón (Beatriz, 2014) .

La papa se domesticó en Sudamérica, específicamente en Bolivia, entre los lagos Titicaca y Poopó hace unos 10,000 a 7,000 años, pero los primeros vestigios se hallaron en el cañón de Chilca, al sur de Lima en Perú que datan de una antigüedad de hace 10,500 años; sin embargo, se estima que el altiplano peruano-boliviano es el centro de origen de este cultivo (CIP, 2006).

La papa es una planta de clima templado frío, el mismo que necesita unas temperaturas que están en torno a 13 y 18 °C; sin embargo las temperaturas demasiado elevadas afectan a la formación de los tubérculos y favorece el desarrollo de plagas y enfermedades. Estudios realizados reflejan que los rendimientos en condiciones de altas temperaturas llegaron sólo a 30 a 40 % para lugares templados, pero para lugares cálidos

se deben manejar variedades adaptadas, fertilización adecuada y riego (Robles, 2009). La mayoría de genotipos desarrollados no se han evaluado en la resistencia a todos los daños provocados por temperaturas altas sostenidas. Las “heat shock proteins” (HSPs) son proteínas cuya síntesis es inducida cuando las plantas se encuentran bajo condiciones de estrés. En gran parte las HSPs están localizadas en el citoplasma y codificadas por genes nucleares, durante el estrés por calor, algunas HSPs son transportadas desde el citoplasma hacia el interior de algunos orgánulos (Chaves, 2015).

El presente estudio experimental forma parte del proyecto de investigación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) titulado: “Marker assisted selection for potato germplasm adapted to biotic and abiotic stresses caused by global climate change”.

2. Justificación:

La información sobre la tolerancia a altas temperaturas en genotipos de papa no ha sido ampliamente estudiada por lo que es importante conocer el comportamiento de dichos genotipos cuando son sometidos a condiciones extremas de altas temperaturas. En este sentido, podemos comprender la importancia y la necesidad urgente de encontrar genotipos tolerantes a altas temperaturas. Se sabe que los distintos genotipos de papa tienen distintos niveles de tolerancia, por lo que es necesario seleccionar los genotipos que produzcan mejor en altas temperaturas, los mismos que tendrán una mayor capacidad de tolerar los efectos del cambio climático.

La presente investigación evalúa la tolerancia a las altas temperaturas en condiciones controladas sobre 27 genotipos de papa, evaluando el daño visual y el rendimiento obtenido en macetas (FAO, 2008).

La creciente variación climatológicas, como las temperaturas muy altas, puede conducir a una pérdida catastrófica de la productividad de los cultivos y provocar una pobreza generalizada, debido a que esto puede conllevar a una disminución de la

producción la misma que compromete la seguridad alimentaria de las personas, porque es un elemento básico de la alimentación de los productores de papa. Por esa razón, es necesario determinar los efectos causados en *Solanum tuberosum* en algunos genotipos de dicha planta. El estrés por alta temperatura tiene una amplia gama de efectos en las plantas en términos de fisiología, bioquímica y vías de regulación de genes (León y Espinoza, 2018).

La susceptibilidad a altas temperaturas en las plantas varía con la etapa de desarrollo de la planta, el estrés por calor afecta en cierta medida a todas las etapas vegetativas y reproductivas. Por esta razón se evaluará el tejido quemado de la planta, la deshidratación del material vegetativo, la productividad y las reacciones de la planta a diferentes respuestas fisiológicas como: la apertura o cierre de estomas, contenido de clorofila y la fluorescencia (Craita y Gerats, 2013).

II. MARCO TEÓRICO:

1. Manejo agronómico de papa

En el Ecuador las principales labores culturales asociadas con el manejo agronómico del cultivo son las siguientes: el retape, el rascadillo, el aporque, la fertilización y el riego (Andrade y Sherwood, 2002).

- Retape: Esta actividad se realiza entre los 15 y 21 días después de la siembra, con el fin de ayudar a la incorporación del fertilizante y controlar las malezas (Torres, 2011).
- Rascadillo: O también llamado primera deshierba, la cual permite controlar las malezas y remover superficialmente el suelo para evitar la pérdida de humedad. Dicha labor se debe realizar de 30 a 50 días después de la siembra y se la puede realizar de dos formas: manual, mecánico (cultivador tiller) (Torres, 2011).

- Aporque: Consiste en acumular tierra alrededor de las plantas y a lo largo de la línea de siembra, esta labor se realiza por dos ocasiones llamándolos medio aporque y aporque; el medio aporque se realiza a los 50 a 80 días después de la siembra y el aporque a los 90 a 110 en este período. Su función es proporcionar soporte a la planta, aflojar el suelo y controlar malezas, además de brindar un ambiente propicio para la tuberización (Torres, 2011).
- Fertilización: Es una actividad importante que se realiza conjuntamente con el medio aporque. Una fertilización primaria para el cultivo de papa debe tener: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), en cuanto a macronutrientes y en cuanto a micronutrientes se necesitan pequeñas cantidades de hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), boro (B) y cloro (Cl) (Valverde, 2012).
- Riego: Consiste en el agua empleada para la irrigación de cultivos con el fin de evitar el déficit hídrico.

2. Factores abióticos en papa:

Los factores abióticos se consideran a los elementos de naturaleza física o química que intervienen en el desarrollo de un cultivo; es decir, es todo aquello que no está presente en el medio ambiente (Raffino, 2020). Para el cultivo de papa existen algunas condiciones necesarias para su producción, dependiendo principalmente de las variedades a ser utilizadas. Muchas de esas variedades, pueden presentar un sin número de respuestas o daños fisiológicos que pueden ser causados por agentes no biológicos como exceso o falta de agua o nutrientes, cambios de temperatura extremos, entre otros; estos efectos pueden ser reflejados tanto en la planta como en el tubérculo (Montesdeoca, 2013).

2.1. Temperatura:

La papa es un cultivo de clima templado - frío que requiere una temperatura de 13 °C a 18 °C y en el suelo debe tener una temperatura superior a los 7 °C. Sin embargo, el

frío excesivo al ser uno de los principales problemas en el cultivo de la papa, causa que los tubérculos queden pequeños y sin desarrollarse. Pero al tener temperaturas altas, también se encuentran problemas de una óptima formación de los tubérculos, rendimiento y además favorecen al desarrollo de plagas y enfermedades (Robles, 2009)

2.2. Heladas:

Es un cultivo con una gran sensibilidad a temperaturas inferiores a $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ocasionando daños visibles a nivel foliar y mermas tanto en los rendimientos como en la calidad de los tubérculos. “En las regiones andinas de Sudamérica, las heladas pueden ocurrir en cualquier etapa del desarrollo del cultivo, disminuyendo así los rendimientos en diferentes intensidades”. Todo esto ocurre, debido a que las heladas inducen la formación de cristales de hielo, dentro del protoplasma causando el rompimiento y muerte celular, o también en los espacios extracelulares produciendo una severa deshidratación celular (Pino, 2016).

2.3. Sequía:

Debido a que la sequía es una limitante de la producción de papa, influye en el desarrollo del mismo y causa pérdidas de rendimiento y calidad de tubérculos. Se ha demostrado que una sequía temprana ocasiona tubérculos más pequeños especialmente en variedades sensibles. Razón por la cual, existen dos alternativas para enfrentar la sequía: optimizar el uso de agua en cultivos de bajo riego y generar variedades genéticamente resistentes o tolerantes para cuando los suelos sean secos (Porco, 2011).

2.4. Suelo:

El cultivo de papa se produce en casi en todos los tipos de suelos, con excepción en suelos salinos o alcalinos. Los suelos más convenientes son los arcillosos o de arena con arcilla y abundante materia orgánica, con buen drenaje y ventilación, estos son los mejores, con un pH de 5,2 a 6,4 en el suelo. Adicionalmente, es necesario una buena

preparación del suelo (arar tres veces, rastrillar con frecuencia y aplicar el rodillo), para que el suelo sea suave, bien drenado y bien ventilado (FAO, 2008).

2.5. Foto período:

Esta reportado por varios estudios que el principal factor ambiental que controla la tuberización son las condiciones fotoperiódicas de días cortos. Esta respuesta, tiene relación al período de floración, las hojas de las especies tuberosas son órganos que reconocen la longitud del día y la inducción de la noche que continua durante el ciclo de día corto, siendo el fitocromo B el fotoreceptor que media esta respuesta. Además, se ha demostrado que un micro RNA (miR172) está involucrado en la inducción fotoperiódica estando presente en las hojas, tallos y estolones (Moreno, 2017).

3. Genotipos en papa:

La mayor biodiversidad genética de papa silvestre y cultivada se encuentra en los Andes de Bolivia, Perú y Ecuador, en donde el Centro Internacional de la Papa (CIP) mantiene más de 3527 variedades de papas nativas y en el Ecuador el INIAP ha colectado alrededor de 350 papa nativas (Monteros, 2010).

3.1. Variedades Nativas:

Las papas nativas son variedades altamente valoradas por sus propiedades organolépticas como el sabor y su textura; además de poseer algunas propiedades nutricionales y sobre todo de tolerancia a condiciones adversas de clima, enfermedades y plagas, las mismas que sirven como fuente de genes para trabajos de mejoramiento genético. La cualidad de las papas nativas son que poseen formas llamativas, pulpas de diferentes colores, texturas arenosas y una cocción rápida (Monteros, 2010). Uno de las variedades nativas que se evaluaron en esta investigación fue Leona Negra, esta “es una papa para consumo en: fresco (cocida y al vapor) y para fritura. Los tubérculos son ovalados con ojos de profundidad mediana, de piel rojo-morado y pulpa amarilla con

escasas manchas rojas”. Como sus características productivas tiene resistencia a lancha (*Phytophthora infestans*) (Torres, 2011).

3.2. Variedades Comerciales o Liberadas:

Las variedades mejoradas son aquellas sometidas a un proceso de mejoramiento genético, obteniendo un mayor potencial de rendimiento, resistencia a enfermedades y buena calidad culinaria. Entre las variedades mejoradas tenemos:

a) INIAP- Cecilia:

“Es una papa para consumo en: fresco (sopas, tortillas y puré) y para procesamiento en forma de hojuelas, los tubérculos son medianos, de forma elíptica, la piel es amarilla clara, con ojos superficiales y la pulpa es amarilla” (Torres, 2011).

Esta variedad proviene de los cruces entre las variedades Vertifolia x Jabonilla, fue liberada en 1981 y para el 2011, la Estación Experimental “Santa Catalina” la comercializo como una variedad mejorada. Sin embargo, es una variedad susceptible a lancha (*Phytophthora infestans*), roya (*Puccinia pittieriana*), y al nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*) (Torres, 2011).

b) INIAP- Fripapa 99

“Esta variedad es una útil para: procesamiento (papa frita en forma de hojuelas y de tipo francesa) y consumo en fresco (sopas y puré). Los tubérculos son grandes, de forma oblonga de color rosado intenso, con ojos superficiales, bien distribuidos y su pulpa es de color amarillo” (Torres, 2011). Esta variedad proviene de cruzamientos de: (Bulk México x 378158.721) x I-1039. La variedad fue liberada en 1995 y como sus características productivas tiene resistencia a lancha (*Phytophthora infestans*); es medianamente susceptible a roya (*Puccinia pittieriana*) y medianamente resistente a cenicilla (*Oidium* spp.) (Torres, 2011).

c) INIAP- Raymipapa

“Esta variedad es útil para: consumo en fresco (sopas, puré y tortillas). Los tubérculos son de forma redonda comprimida, de piel crema, con ojos de profundidad mediana y pulpa amarillo-clara. Esta variedad proviene de cruzamientos de: 378979.46 (CCCU-69.1 x Bulk Seedl.78 Mx) x Bulk Seedl. 79/80 Mex. La variedad fue liberada en 1999 y como sus características productivas tiene resistencia a lancha (*Phytophthora infestans*)” (Torres, 2011).

d) Clon (C8) Carolina

“El clon C8 es comúnmente conocido como “Carolina” fue generado por el CIP y todavía no ha sido liberado oficialmente. Es un clon para consumo en fresco (cocida) y para fritura tipo francés, los tubérculos son oblongos, su piel y pulpa son de color crema y sus ojos son superficiales.” Esta variedad proviene de cruzamientos de: 38139.16 x I-039. Como sus características productivas tiene resistencia a lancha (*Phytophthora infestans*) (Torres, 2011).

3.3. Códigos genéticos:

Los códigos genéticos son desarrollo de clones de papa dentro de un programa de mejoramiento genético. Es decir, son un material genéticamente uniforme derivado de un sólo individuo y que se propaga de forma exclusiva por medios vegetativos o se pueden dar de dos formas por medio de una hibridación que consiste en cruza inducidas o por medio de mutaciones, produciendo una variante del mismo clon (Nazar, 2011).

4. Tolerancia a altas temperaturas en papa:

La papa al ser una planta termo periódica, es decir, que necesita una variación de las temperaturas entre el día y la noche (entre 10 a 25 °C en el aire); los daños causados por el estrés por calor en el metabolismo y el desarrollo de las plantas involucra la duración del estrés, la tasa de incremento y la temperatura máxima alcanzada; “sin embargo, los cultivos poseen una flexibilidad estructural y fisiológica que les permite adaptarse a

diferentes temperaturas, considerando que la exposición de las plantas a temperaturas muy altas (>50 °C) resulta en un severo daño y colapso a nivel celular en cuestión de minutos” (Gutiérrez, 2017). En general, se reconocen cuatro tipos de estrés térmico en las plantas:

- El provocado por temperaturas altas sostenidas;
- Los episodios frecuentes de temperaturas altas.
- El daño por enfriamiento (de 0 a 10 °C)
- Los daños por congelamiento a temperaturas inferiores a los 0 °C, causando la formación de hielo en los tejidos de las plantas.

La exposición al calor produce algunas reacciones como la activación de una cascada y señalización genética, generando la estabilidad de proteínas y membranas las cuales se encuentran acompañadas por la producción de enzimas antioxidantes para mitigar el efecto causado por el estrés térmico. “De esta manera, se producen cambios anatómicos, funcionales y morfológicos en las plantas como: cambios en la permeabilidad de las membranas, incrementos de la densidad de estomas y tricomas, reducción de la conductancia estomática y cierre de estomas, y reducción a nivel celular” (Ramos, 2018).

Por lo tanto, al incrementar la temperatura se tendrá una mayor transpiración vegetal, provocando un incremento en la demanda de agua de las plantas y ocasionando estrés hídrico en las zonas productoras más secas, afectando los rendimientos de las plantas. Este efecto es más grave al no tener una óptima distribución de las lluvias, ni una posibilidad de riego; el mismo que ocasionaría una disminución del 20 % al 30 % de su rendimiento (Miranda, 2017).

III. OBJETIVO GENERAL:

Determinar las respuestas al estrés por calor de 27 genotipos de papa (*Solanum tuberosum*).

IV. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Multiplicar el material vegetal entregado por INIAP.
- Evaluar el rendimiento y el daño foliar de los 27 genotipos de papa para una temperatura de 38 °C
- Valorar las respuestas fisiológicas antes y después del estrés por calor de los parámetros: fuga de electrolitos, conductancia estomática, fluorescencia de la clorofila y contenido de clorofila.
- Determinar las correlaciones existentes entre rendimiento y cada una de las variables fisiológicas.

V. HIPÓTESIS:

- Los 27 genotipos de papa presentan diferentes niveles de resistencia al estrés calórico.

VI. METODOLOGÍA

1. Material biológico:

Es un material desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), del cual se seleccionaron 27 genotipos de papas entre códigos genéticos (clones) y variedades liberadas, seleccionando las semillas por sus características de tamaño (grande, mediano, pequeño) y la calidad de semilla obtenida.

El trabajo se realizó en la Hacienda el Prado en Machachi, ubicada en la provincia Pichincha, perteneciente al cantón Mejía de la parroquia el Chaupi; a una altitud de 3000 m.s.n.m. y una latitud de -0,6 y una longitud de -78.633 a una temperatura promedio de 16 °C. La distribución de los genotipos en campo se la realizó en tres bloques distintos, los mismos que se agruparon y homogenizaron en base a su porcentaje de germinación y

ciclo vegetativo. La tabla 1 nos indica los veintisiete genotipos que fueron sometidos al estrés de calor y su agrupación en bloques en base al trabajo realizado:

Tabla 1: División de bloques y genotipos de trabajo.

División de bloques de siembra y genotipos.		
Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
Carolina (VC)	Raymi Papa (VC)	11-9-9 (CG)
Cecilia (VC)	Leona Negra (N)	11-9150 (CG)
11-8-6 (CG)	Fripapa (VC)	12-4-37 (CG)
11-9-107 (CG)	11-9-172 (CG)	11-9-64 (CG)
11-9-108 (CG)	12-4-173 (CG)	14-9-56 (CG)
11-9-27 (CG)	11-9-1 (CG)	11-9-112 (CG)
11-9-44 (CG)	11-9-175 (CG)	11-9-8 (CG)
11-9-66 (CG)	11-9-77 (CG)	
11-9-106 (CG)	11-9-28 (CG)	
11-9-101 (CG)	11-9-133 (CG)	

N: Nativa, VC: Variedad Comercial, CG: Códigos genéticos

2. Materiales y Equipos usados en el invernadero:

- Tierra negra.
- Macetas de 6 litros.
- Semilla de los 27 genotipos.
- Mallas para separar los diferentes genotipos y para su cosecha.

3. Equipos utilizados en campo:

- Conductímetro: Jenway 470 (daño por fuga de electrolitos).
- Porómetro: SC-1 Leaf Porometer (Apertura estomática).
- Fluorómetro: OPTI-SCIENCES OS30p (Actividad fotosistema II).
- SPAD: Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus (Contenido de Clorofila).

4. Métodos de almacenamiento:

En cuanto al material vegetal se obtuvieron veinte siete genotipos de papa, los tubérculos de los genotipos se ubicaron en mallas de plástico, las cuales fueron almacenadas durante diez días hasta la siembra en condiciones de obscuridad y abundante ventilación. Los tubérculos fueron utilizados como semilla para la obtención de plantas que permitan desarrollar el experimento.

5. Manejo en Campo:

Se realizó la siembra en macetas de 6 litros con tierra negra proveniente de Papallacta, provincia de Napo. Posteriormente, se sembró un tubérculo a una profundidad de 5 a 10 cm por maceta, junto a una fertilización química que consiste en aproximadamente 10 gr por planta de fertilizantes completos (15N-30P-15K-5(Mg)) y se completó la nutrición con bioestimulantes (*Trichoderma*, *Arthrobotrytis*, *Paecilomyces*) y abonos foliares (ácidos húmicos y fúlvicos). Se sembraron un total de 30 macetas por cada genotipo, las mismas que se dividieron en 15 para el control y 15 plantas para el tratamiento a calor.

En el desarrollo de la planta se regó por 2 a 3 veces por semana hasta llegar a condición de campo (aproximadamente 2 litros por planta). Se utilizó una metodología convencional para el desarrollo del cultivo, por lo que las aplicaciones de pesticidas se realizaron en base a la incidencia de plagas y enfermedades relacionadas con el desarrollo de las plantas, efectuando aplicaciones de agroquímicos en las diferentes etapas fisiológicas del cultivo, considerando los requerimientos de este cultivo y de la zona,

para minimizar el daño producido por enfermedades tales como: lancha o tizón tardío (*Phytophthora infestans*), insectos como pulguilla (*Epitrix* spp.), gusano blanco (*Premnotrypes vorax*) y sobre todo contra los posibles vectores de punta morada.

El principal producto usado contra lancha fue Organotiofosfato alifático, además, de otros fungicidas de complejo de manganeso etilenbis (ditiocarbamato) y (polimérico) con sal de zinc, Clorotalonilo, Ácido Giberélico y Carbosulfan. Como insecticidas se utilizaron principalmente: una mezcla de concentrado de ají + jabón potásico y para el control de los posibles vectores de la punta morada se utilizó principalmente: Abamectina y Tetradifon; adicional a estos productos, se complementó con aplicaciones de: *Beauveria* y *Trichoderma* cada 2 semanas.

6. Manejo del experimento en invernadero.

Las plantas fueron colocadas en un cubículo de temperatura controlada, para ser sometidas al estrés calórico. Cuando alcanzaron la edad de 60 a 70 días se sometieron al estrés calórico en un cuarto precalentado a una temperatura de 38 °C, completamente iluminado por un total de 12 horas luz para mantener el fotoperíodo de las plantas, permaneciendo por un tiempo de 48 horas. Una vez terminada la exposición al calor se ventiló el cubículo por 30 minutos y se procedió a medir los parámetros fisiológicos como: fuga de electrolitos, conductancia estomática, fluorescencia y contenido de la clorofila. Todos estos parámetros se asociaron con el daño por la escala visual y la productividad de cada genotipo evaluado.

7. Metodología de la Evaluación:

7.1. Multiplicación:

La multiplicación de los genotipos comenzó con la resiembra en campo de los 27 genotipos un día después de haber sido sometidos al estrés de calor y a los 3 meses se cosechó cada uno de los tubérculos de dichos genotipos. Además, se realizó una siembra

directa para medir la diferencia con los genotipos que no fueron sometidos al estrés por calor y a los tres meses se midió el rendimiento que se expresó en kg / planta.

7.2. Evaluación de los genotipos.

7.2.1. Rendimiento en macetas.

Consistió en tomar plantas con dos meses de edad y someterlas al estrés por calor, posteriormente al mes de ser sometidos al estrés se realizó la cosecha de los tubérculos. Y en el caso del control, igualmente se tomó plantas de tres meses de edad sin estar sometidas al estrés por calor, se cosecharon y se obtuvo un rendimiento expresado en kg / planta en los dos casos. Adicionalmente se calculó el rendimiento relativo, el mismo que es una ponderación, en donde la media del control es el 100% y se calcula el porcentaje relativo obtenido en cada uno de los genotipos sometidos al estrés por calor.

7.2.2. Daño Foliar mediante Escala de Daño Visual:

Después de 48 horas de que las plantas salieron del cuarto caliente se utilizó la escala de Vega y Bamberg (1995) la cual permite clasificar y cuantificar el nivel de daño en las plantas afectadas. Dicha escala visual se basa en los siguientes niveles de clasificación:

0. Sin daños visibles.
1. Ligero bronceado en el foliolo superior.
2. Pocos foliolos superiores muertos.
3. Muchos foliolos superiores muertos.
4. Hojas y peciolo superiores muertos.
5. Todas las hojas muertas.
6. Todas las hojas y los tallos muertos.

Para complementar la escala de daño visual, se documentó con fotografías que muestran el nivel de daño en el tejido foliar de las plantas una vez expuestas al estrés de calor; adicionalmente se hizo el cálculo del daño relativo que consiste en determinar el porcentaje

de daño visual en la planta; en donde el 100% representaba la media general de cada uno de los genotipos.

7.3. Respuestas fisiológicas.

7.3.1. Índice de daño por fuga de electrolitos.

Considerando que las células vegetales expuestas a estrés por temperatura, pierden la habilidad para mantener gradientes de concentración a través de las membranas. “El daño de fuga de electrolitos detecta el paso de partículas cargadas desde el protoplasma a una solución externa en la que se baña la célula, por esta razón, la tolerancia de la planta se puede medir por medio de la termo estabilidad de las membranas (SEGURA, 2009).” Todo esto se produce debido a que la función ATPasa disiparán gradientes de concentración que son esenciales para el funcionamiento normal. Para esto se realizó lo siguiente:

a) Obtención de discos:

Para la obtención de los discos se seleccionaron las hojas del tercio superior de la planta para estandarizar la toma de muestras, de las mismas que se obtuvieron cinco discos por hoja, estos discos fueron tomados con un sacabocado de tamaño #5, posteriormente se colocó a los discos en un tubo de ensayo con 10 ml de agua destilada, se rotuló los tubos y después de una hora se procedió a medir la conductividad eléctrica con el conductímetro JENWAY 470, en cada uno de los tubos de ensayos realizados, y se tomaron los valores de 8 repeticiones por cada genotipo, posteriormente las muestras fueron llevadas al laboratorio de la USFQ, en donde se auto clavaron y se midió la conductividad eléctrica para obtener los electrolitos fugados del tejido y así determinar un índice de daño por fuga de electrolitos. Dicho tratamiento se realizó para las plantas del control como las plantas sometidas al estrés por calor.

b) Cálculo de Índice de Daño por Fuga de Electrolitos

- Para el cálculo del índice de fuga de electrolitos se calculó la liberación fraccionaria del total de electrolitos de una muestra expuesta a temperatura (R_t) y la liberación fraccionaria del total de electrolitos de una muestra sin exponer a temperatura (R_0).

La fórmula que fue utilizada para calcular el índice de daño por fuga de electrolitos se detalla a continuación (Flint, 1966) :

$$I_t = \frac{100(R_t - R_0)}{1 - R_t} ; R_t = \frac{L_t}{L_k} ; R_0 = \frac{L_0}{L_d}$$

Donde:

- I_t = Índice de daño resultante de la exposición a temperatura.
- R_t = Liberación fraccionaria del total de electrolitos de una muestra expuesta a temperatura.
- L_t = Conductancia específica de la fuga de electrolitos de una muestra expuesta a temperatura.
- L_k = Conductancia específica de la fuga de electrolitos de una muestra expuesta a temperatura y después autoclavada.
- R_0 = Liberación fraccionaria del total de electrolitos de una muestra sin exponer a temperatura.
- L_0 = Conductancia específica de la fuga de electrolitos de una muestra sin exponer a temperatura.
- L_d = Conductancia específica de la fuga de electrolitos de una muestra sin exponer a temperatura y después autoclavada.

7.4. Conductancia estomática:

La conductancia estomática es la técnica que mide la apertura de los estomas en términos de la conductancia del vapor de agua que sale de la hoja, utilizando algunos modelos basados en el proceso de cómo los estomas detectan la turgencia de la hoja y en

cómo cuantificar los niveles de carbono del bajo potencial hídrico en la hoja; además de tener algunos factores importantes en el control de la conductancia estomática como es el caso del ácido abscísico (ABA). La hormona ABA induce un cierre inmediato de los estomas debido a la inhibición de las bombas de protones dependientes de Adenosina trifosfato (ATP), debido a un aumento del pH citosólico y a un cambio en las concentraciones de Ca^{2+} citosólico, dándonos una señal de falta de agua en la raíz (Marassi, 2019).

En este estudio se utilizó el porómetro (SC-1 Leaf Porometer) que mide la presión ejercida por el flujo de vapor del agua en dos puntos: dentro de la hoja y en los dos sensores de humedad; para poder conocer el flujo de vapor de agua; es decir, que los valores de apertura estomática altos indican mayor tasa de transpiración, por lo tanto, tenemos una mayor pérdida de agua. Por otra parte, los valores bajos representan una menor tasa de transpiración traduciéndose en retención de agua por parte de la planta (High Tech Service, 2019).

7.5. Fluorescencia de clorofila:

“La fluorescencia es un fenómeno foto-físico de la clorofila que permite estudiar la función del fotosistema II (PSII) durante el transporte electrónico en la fotosíntesis y la sensibilidad del PSII al daño que puede sufrir por efecto de diferentes estreses, este proceso de la fotosíntesis mide la fluorescencia de la clorofila para obtener información de la eficiencia fotoquímica y la disipación térmica de la energía absorbida” (Hernández, 2013).

La medida que se utiliza es FV/O dada por el equipo “OPTI-SCIENCES OS30p+” y unas pinzas de adaptación a la obscuridad. Para iniciar el proceso de las mediciones, se colocan las pinzas en las hojas completamente expandidas de cada uno de los 27 genotipos de papa, dejando en oscuras el tejido por 30 minutos. A continuación, el equipo debe ser calibrado, sobre los parámetros de medición Fv/X, una vez calibrado, se ubica

el equipo en las pinzas y se abre una tapa para introducir el lente encargado de la medición emitiendo una luz roja. Posteriormente, se obtienen los valores FV/O realizándolo por 4 repeticiones por cada genotipo (González, 2008).

7.6. Contenido de la clorofila:

Se mide el contenido de clorofila de las hojas de las plantas para determinar las condiciones nutricionales y saludables de las plantas que pueden ser cultivadas, resultando en un mayor rendimiento de los cultivos y de mayor calidad. Las mediciones realizadas con el equipo “Konica Minolta SPAD-502 Plus” que nos permiten hacer mediciones del valor correspondiente al contenido en la hoja y determina un índice SPAD o índice relativo de clorofila que, normalmente, es altamente correlacionado con el contenido de clorofila de la hoja identificando la deficiencia de nitrógeno (Ribeiro, 2015).

Para utilizar el equipo se necesita calibrado por 5 segundos y después de que el equipo es calibrado, se seleccionó la tercera hoja completamente expandida de arriba hacia abajo, para realizar las mediciones ubicando las pinzas en los folíolos respectivos obteniendo los valores. Las mediciones se realizaron 2 días después del estrés de calor con 2 repeticiones por cada genotipo y también se lo realizó antes de ser sometidos al estrés por calor (Gisiberica, 2020).

8. Métodos Estadísticos.

Para el estudio estadístico se realizó un análisis de la varianza (Anova) utilizando un diseño de Bloques completamente al Azar (DBCA), conjuntamente con una prueba de Tukey para estimar la diferencia entre medias de genotipos y por último se realizó correlaciones de Pearson entre rendimiento maceta y rendimiento campo versus cada una de las variables (Daño visual, Fuga de Electrolitos, Conductancia estomática, Fluorescencia de clorofila y SPAD). Con el fin de dar una distribución normal a los datos para la variable rendimiento campo se realizó una transformación de los datos por medio de la raíz cuadrada; pero para la variable fluorescencia se utilizó el log 10 y por último

para la variable fuga de electrolitos se utilizó la transformación asimétrica sesgada a la derecha (Sánchez, Introducción al diseño experimental, 2018).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

1. Multiplicación de los 27 genotipos antes y después del estrés por calor.

1.1. Rendimiento en campo sin estrés.

En la figura 1 podemos observar la producción de papa en un sistema de siembra directa en campo. Los genotipos con promedios bajos de producción tuvieron rangos entre 0,34 a 0,51 kilogramos por planta fueron: 11-9-44, 11-9-108, 11-9-66, 11-8-6, 11-9-107, Cecilia, 11-9-175, 11-9-101. Los genotipos con rangos de producción intermedios con valores entre 0,57 a 0,82 kilogramos fueron: 11-9-27, 11-9-77, 11-9-28, 12-4-173, 11-9-112, 12-4-37, 11-9-01. Por último, tenemos a los genotipos con rangos superiores a 0,83 Kg que fueron: 11-9-172, Fripapa, Leona Negra, 11-9-133, 11-9-106, Raymi papa.

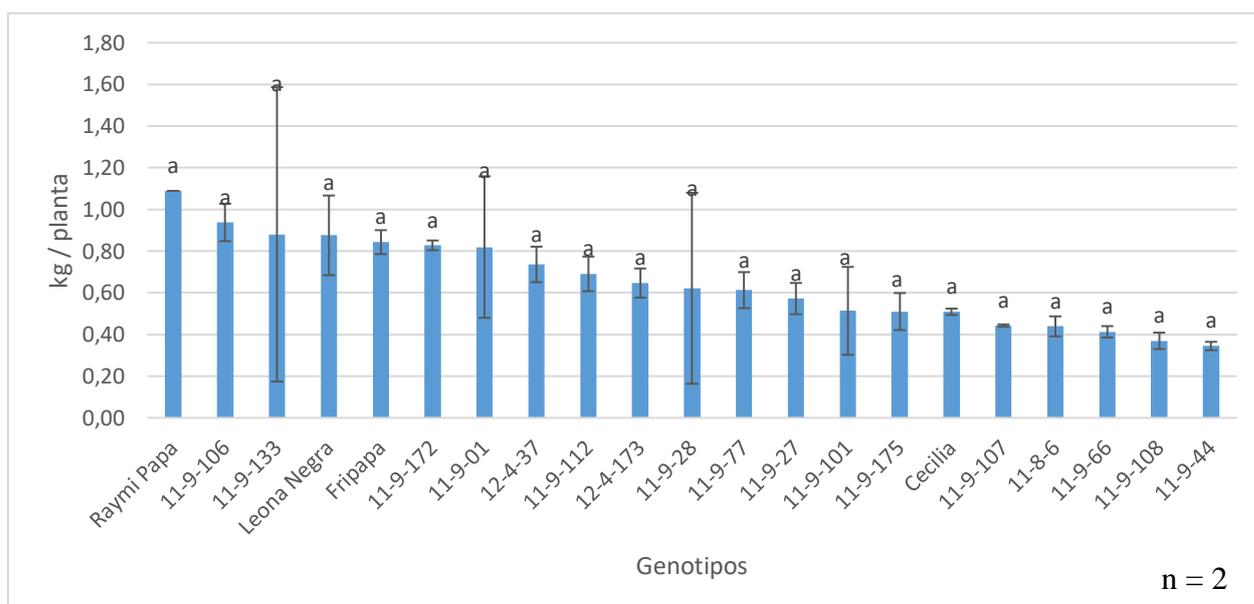


Figura 1: Rendimiento en maceta de veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) siembra directa a campo. La figura muestra la estimación del error para los 21 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes

letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

De acuerdo con la prueba de Tukey, todos los genotipos obtuvieron el mismo rango estadístico, lo que quiere decir que no existe diferenciación significativa entre los genotipos que no fueron sometidos al estrés por calor.

1.2. Rendimiento en trasplante a campo de los genotipos sometidos al estrés por calor.

En la figura 2 se indica la producción de los veintisiete genotipos de papa después de ser sometidos a estrés por calor. Esta figura nos muestra los genotipos con promedios bajos de producción con rangos entre 0,30 a 0,65 kilogramos por planta y fueron: 11-8-6, 11-9-44, 11-9-108, Cecilia, 11-9-77, 12-4-37 y 11-9-27. Los genotipos con rangos de producción intermedios están entre 0,71 a 0,99 kilogramos fueron: 11-9-66, 11-9-112, 12-4-173, 11-9-28, Raymi Papa, 11-9-106, 11-9-107 y 11-9-101. Por último, tenemos a los genotipos con rangos superiores a 1,10 kilogramos fueron: Leona Negra, 11-9-01, 11-9-172, Frippapa, 11-9-175 y 11-9-133.

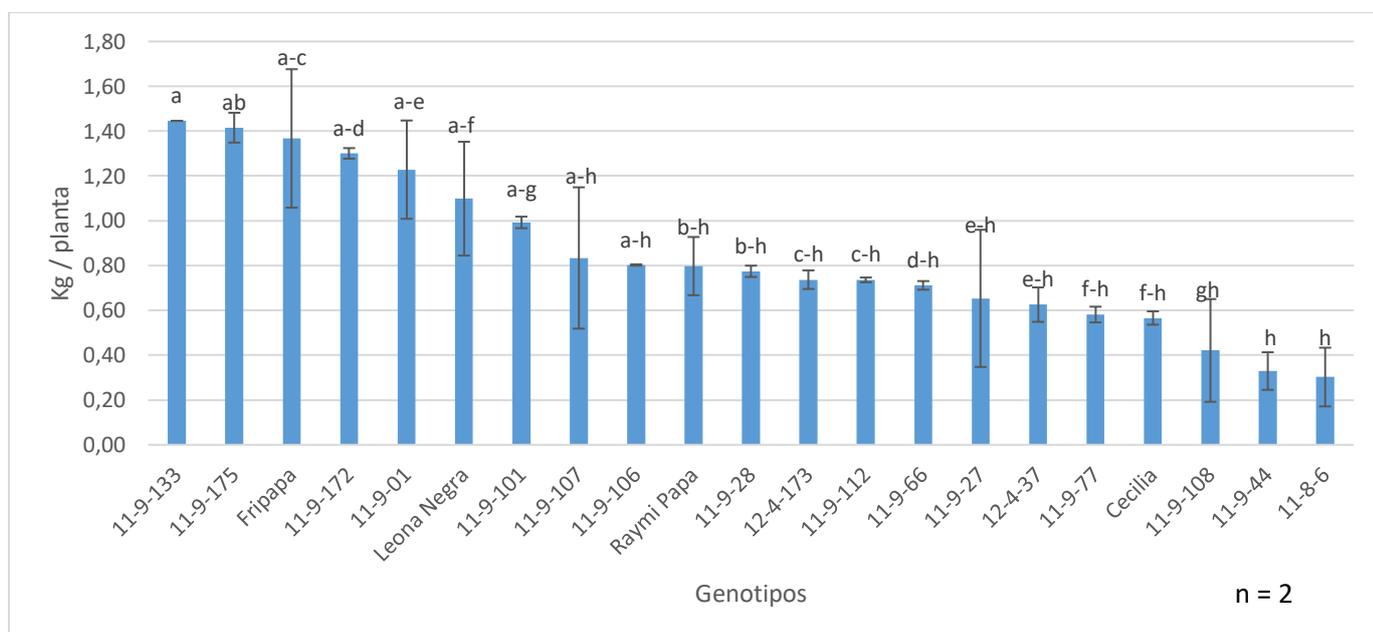


Figura 2: Producción en campo de veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sometidas al tratamiento por calor. La figura muestra la estimación del error

para los 21 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA con una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

De acuerdo con la prueba de Tukey, el primer rango de significación tuvo los genotipos con los rendimientos más altos; es decir, desde 11-9-133 hasta el genotipo 11-9-106. Sin embargo, los genotipos que tienen el último rango (h) no tienen diferencia significativa entre ellos: 11-9-107 al 11-8-6.

2. Evaluación de Tolerancia de los 27 genotipos después del estrés por calor.

2.1. Rendimiento por planta en maceta sin estrés.

El rendimiento es el parámetro que determina la tolerancia o susceptibilidad de las plantas por medio de los kilogramos (kg) producidos por planta. En la figura 3 podemos observar la producción de papa sin estrés por calor; los genotipos con promedios bajos de producción con rangos entre 0,12 a 0,23 kilogramos fueron: 11-8-6, 11-9-108, 11-9-27, 14-9-56, Carolina, 11-9-106, 11-9-101, 11-9-66. Los rangos de producción intermedios tuvieron valores entre 0,25 a 0,37 kilogramos y fueron: Cecilia, 11-9-107, 12-4-37, 11-9-77, 11-9-44, 11-9-64, 11-9-8, 11-9-9, 11-9-150, 11-9-112, 11-9-172, 11-9-28, Leona Negra. Por último, tenemos a los genotipos con rangos superiores a 0,40 Kg fueron: 11-9-175, 12-4-173, Fripapa, 11-9-133, 11-9-1, Raymi papa.

En este mismo aspecto Miranda (2017), encontró que la producción con genotipos provenientes del lugar en comparación con genotipos de papa introducidos de otros países que son genotipos mejorados. Los nacionales obtuvieron una producción máxima de 0,50 kg / planta, mientras que los genotipos mejorados obtuvieron una producción de 1,31 kg / planta, demostrando mejores niveles de tolerancia al estrés calórico.

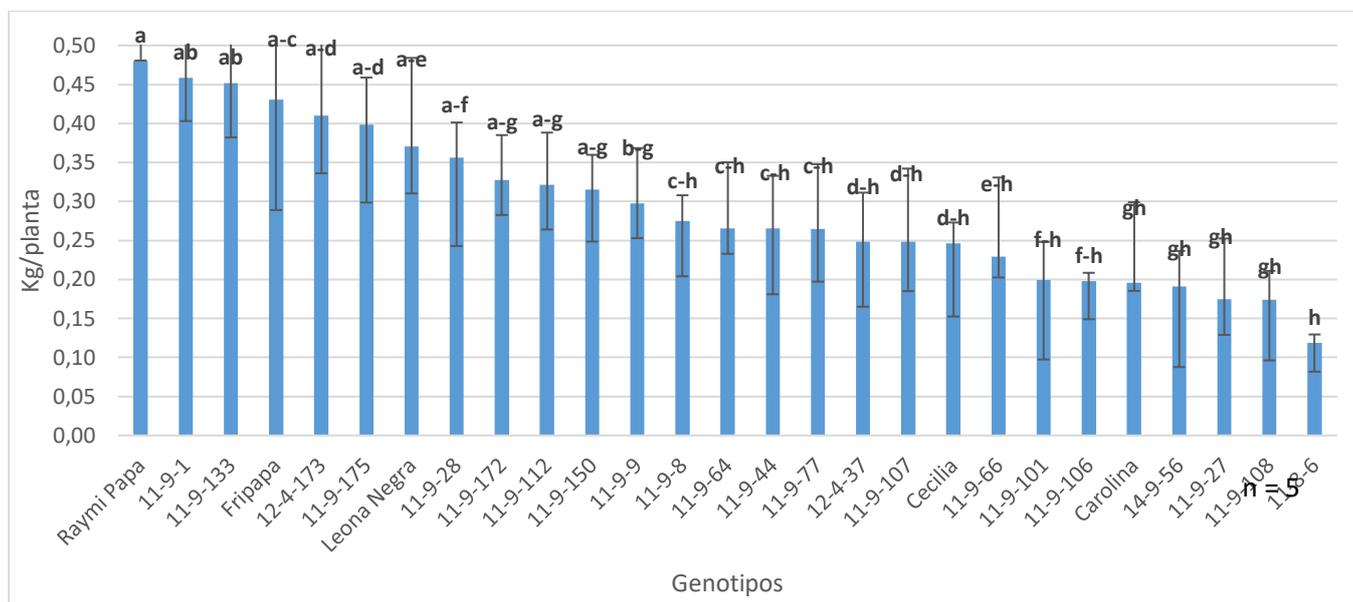


Figura 3: Producción en maceta de veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin tratamiento por calor. La figura muestra la estimación del error para los 21 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA ($P < 0.05$) con una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

De acuerdo con la prueba de Tukey, el primer rango de significación (a) se obtuvo con los genotipos con los rendimientos más altos desde Raymipapa hasta 11-9-150; mientras que los genotipos que tuvieron el último rango (h) de significancia esta entre el genotipo 11-9-8 hasta el último genotipo que es 11-8-6.

2.2. Rendimiento en macetas sometidos al estrés por calor.

En la figura 3 se indica la producción de los veintisiete genotipos de papa después de ser sometidos a estrés por calor. Esta figura nos indica que los genotipos con promedios bajos de producción tuvieron rangos entre 0,08 a 0,12 kilogramos por planta y fueron: 11-9-27, 11-9-106, 14-9-56, 11-9-66, Carolina, 11-8-6, 11-9-112, 11-9-107. Los rangos de los genotipos con rendimiento intermedios con un rango entre 0,13 a 0,22 kilogramos fueron: 11-9-44, 11-9-101, 12-4-37, 11-9-108, Cecilia, 11-9-64, 11-9-77, 11-9-28, 11-9-150, 11-9-8. Por último, tenemos a los genotipos con rangos superiores a 0,25 kilogramos

que fueron: 11-9-1, 11-9-175, 11-9-172, 11-9-9, 12-4-173, Raymi papa, Fripapa, 11-9-133 y Leona Negra.

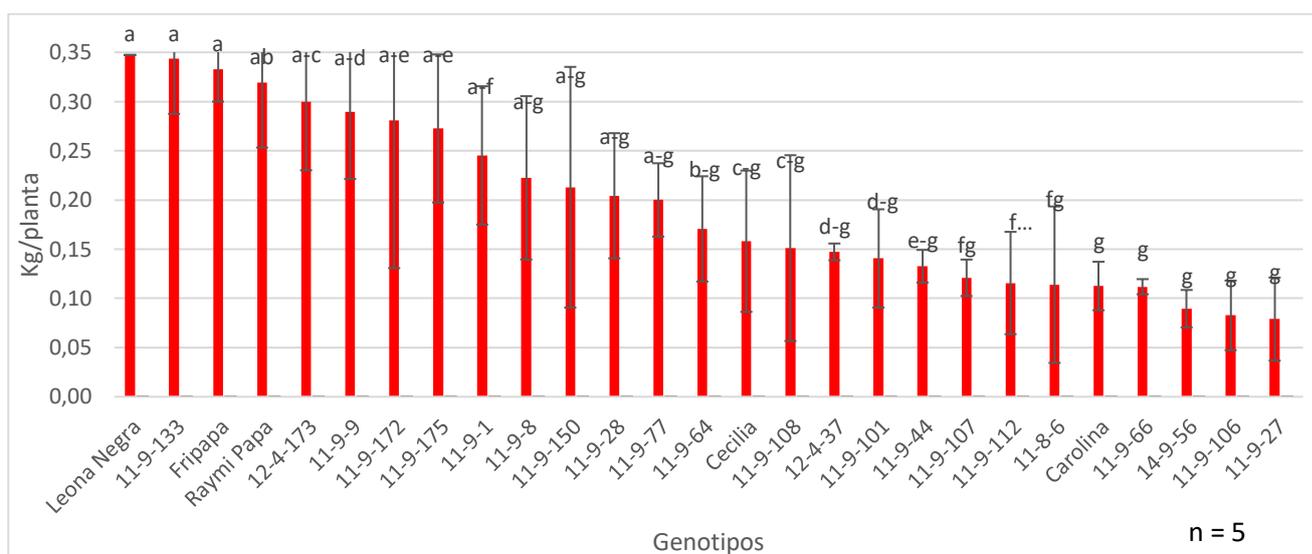


Figura 4: Producción en maceta de veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sometidas al tratamiento por calor. La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA con una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

De acuerdo con la prueba de Tukey, el primer rango de significación (a) tuvo los genotipos con los rendimientos más altos desde Leona Negra hasta 11-9-77; mientras que los genotipos que tuvieron el ultimo rango (g) de significancia están entre el genotipo 11-9-8 hasta el último genotipo que es 11-9-27.

2.3. Porcentaje relativo del rendimiento de tubérculos de papa sin y después del estrés por calor.

En la figura 5 se indica la producción de los veintisiete genotipos de papa antes y después de ser sometidos a estrés por Calor expresado en porcentaje relativo. Los promedios bajos de producción están con rangos entre 27 % a 39 % y fueron: 11-9-27, 11-9-106, 14-9-56, 11-9-66, Carolina, 11-8-6 y 11-9-112. Los rangos de producción intermedios de los genotipos estuvieron entre 41% a 70% y fueron: 11-9-107, 11-9-44,

11-9-101, 12-4-37, 11-9-108, Cecilia, 11-9-64, 11-9-77 y 11-9-28. Por último, tenemos los genotipos con rangos superiores a 73 % hasta 99 % las cuales fueron: 11-9-150, 11-9-8, 11-9-1, 11-9-175, 11-9-172, 11-9-9. Asimismo, los genotipos que superan el 100% dándonos como resultado una reacción positiva al estar sometidos al estrés por calor, teniendo rendimientos superiores al control fueron: 12-4-173, Raymi Papa, Frippapa, 11-9-133 y Leona Negra.

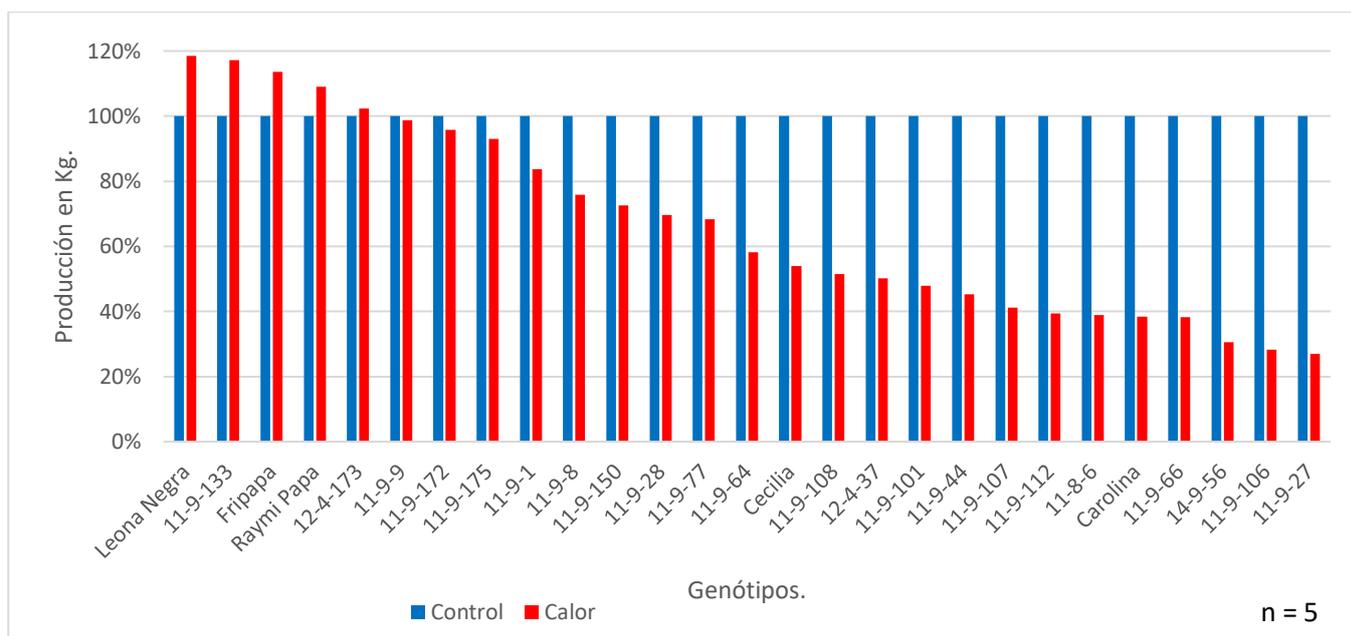


Figura 5: Porcentaje relativo de la producción en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin estrés (control) y con estrés por calor.

2.4. Evaluación del daño foliar mediante escala de daño visual.

2.4.1. Nivel de daño foliar después del estrés de calor en veintisiete genotipos de papa.

En el gráfico 1 se puede visualizar las variedades comerciales en estudio con ejemplos de plantas de control y de tratamiento calórico. También podemos ver el comportamiento de los genotipos después del estrés, encontrando a la variedad: Carolina con mayor cantidad de daño y Cecilia, Frippapa y Raymipapa como los genotipos que presenta menor cantidad de daño foliar. Además, se puede apreciar la cantidad de área

foliar de cada uno de los genotipos y su nivel de afectación al no ser sometidos al estrés y después de ser sometidos al estrés por calor.

Gráfico 1: Variedades comerciales y nativas en daño visual sin estrés de calor y con estrés por calor.

Genotipo	Control				Calor			
Carolina								
Cecilia								
Fripapa								
Leona negra								
Raymipapa								

En la figura 6 donde se indica el porcentaje de daño visual en los 27 genotipos después de haber sido inducidos a estrés por calor. Los genotipos que presentan un menor porcentaje de daño en un rango de 10 % al 24 % fueron: 11-9-77, Cecilia, 11-9-28, 11-9-133, 11-9-01, 11-9-44, 11-9-107, Leona Negra y Fripapa. Los genotipos que están en un rango intermedio de daño están entre 25% a 57 % fueron: 11-9-175, Raymi Papa, 11-9-108, 11-9-101, 11-9-66, 11-9-172, 11-8-6, 11-9-106, 11-9-27 y Carolina. Finalmente, los genotipos que mayor daño tuvieron están en un rango mayor a 60% fueron: 11-9-9, 12-4-37, 11-9-150, 11-9-112, 11-9-8, 11-9-64, 14-9-56, 12-4-173.

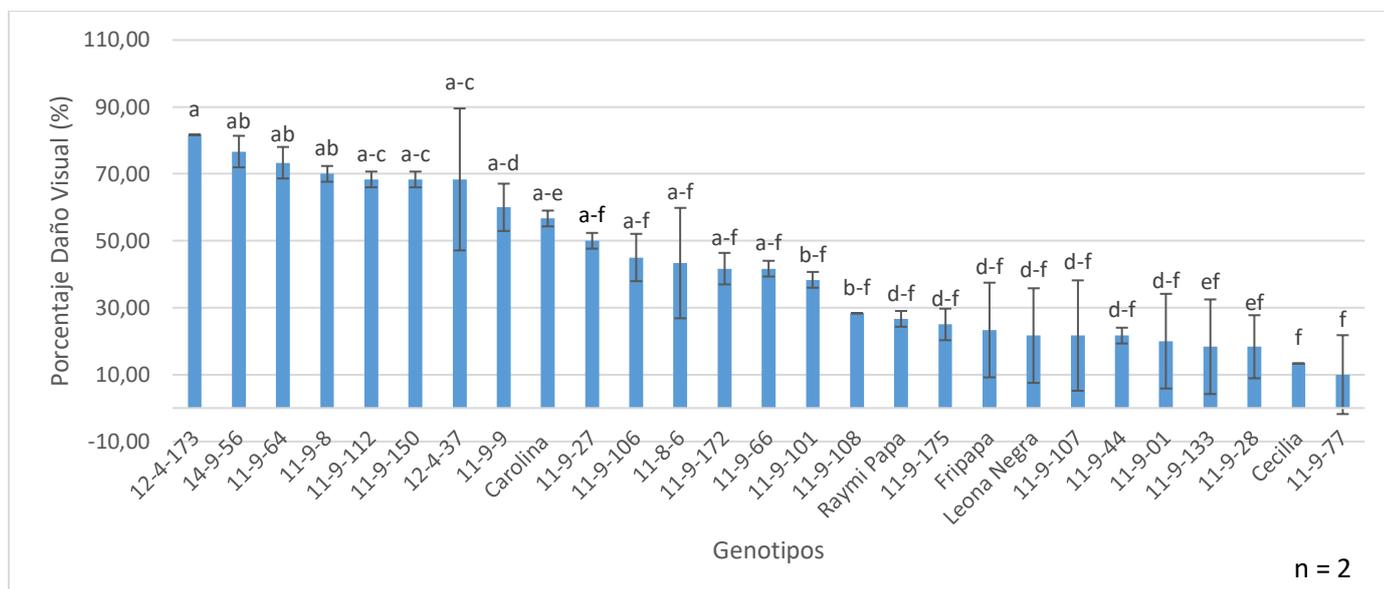


Figura 6: Porcentaje del índice de daño por la escala visual en veintisiete genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas. La figura muestra la estimación del error para los 21 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA con una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

De acuerdo con la prueba de Tukey, el primer rango de significación (a) tuvo los genotipos con la escala de mayor daño visual desde 12-4-173 hasta 11-9-66; mientras que los genotipos que tuvieron el último rango (f) de significancia; es decir, menor daño visual de forma significativa, esta entre el genotipo 11-9-27 hasta el último genotipo que es 11-9-77.

2.4.2. Porcentaje de daño relativo:

En la figura 7 se presenta el porcentaje de daño visual en los veintisiete genotipos sometidos al estrés por calor a 38°C por 48 horas, los genotipos que presentan un menor daño (< 25%) son los siguientes: 11-9-77, Cecilia, 11-9-175, 11-9-108, 11-9-28, 11-9-107, 11-9-133, 11-9-44, Fripapapa y 11-9-01; y los que poseen una mayor resistencia. Por otro lado, los genotipos que presentan un nivel de resistencia de 29% a 63%; sufriendo un daño intermedio son: Leona Negra, 11-9-101, 11-9-66, 11-9-9, Raymi papa, 11-9-106, Carolina, 11-9-172, 11-8-6, 11-9-27 y 12-4-37. Finalmente, los genotipos que se encuentran entre el 67% a 96% de

daño son: 11-9-150, 11-9-64, 11-9-8, 11-9-112 ,14-9-56 y 12-4-173; es decir, que estos son los genotipos que presentan los mayores porcentajes de daño.

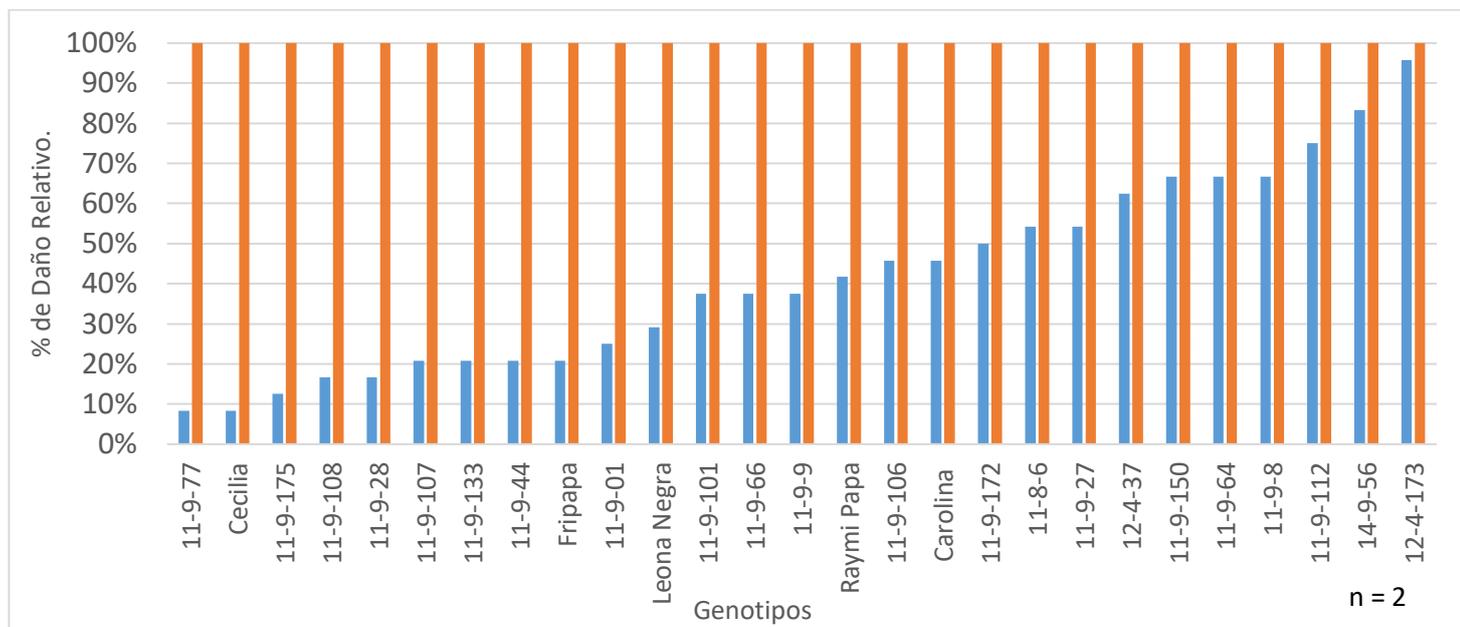


Figura 7: El porcentaje de daño visual en los veintisiete genotipos sometidos al estrés por calor a 38°C por 48 horas. Valoración de la tolerancia o susceptibilidad de los veintisiete genotipos.

Según Corrales (2019), al someter los genotipos de papa al estrés por sequía se obtuvo un porcentaje de daño máximo de 70 % y como mínimo del 45 % del daño visual. En este estudio para valorar el estrés por calor se obtuvieron valores del 8% como mínimo daño y del 96% como máximo de daño relativo.

3. Valoración de la tolerancia o susceptibilidad de los veintisiete genotipos

La valoración de la tolerancia o susceptibilidad de los veintisiete genotipos se realizó en base a dos parámetros que son el rendimiento en macetas y escala de daño visual. En la tabla 2 podemos observar la ponderación usada para el rendimiento y luego en la tabla 3 se indica la ponderación usada para la escala de daño visual de plantas en calor.

Tabla 2: Ponderación usada para Rendimiento en maceta

Clasificación	Valor	Kg/Planta
Tolerantes	2	0,3 - 0,4
Medianamente Tolerantes	1	0,15 - 0,3
Susceptibles	0	< 0,15

(Vega, 1995)

Tabla 3: Ponderación usada para Escala de Daño Visual (Calor)

Clasificación	Valor	Rango Daño Visual
Tolerantes	2	0 – 2
Medianamente Tolerante	1	3 – 4
Susceptibles	0	5 - 6

(Vega, 1995)

Finalmente tenemos la tabla 4, que con estos datos nos indica una valoración de los veintisiete genotipos de papa en base a: rendimiento y daño visual del tratamiento de calor. La clasificación se diferenció de la siguiente manera: Tolerantes con un valor de: 4, medianamente tolerantes con 3, susceptibles con 2 y muy susceptibles con valor igual o inferior a 1.

Los genotipos que dieron una valoración de tolerantes (4) son los códigos: 11-9-133, Fri papa, Leona Negra, Raymi Papa. Los genotipos medianamente tolerantes (3) son: 11-9-01, 11-9-108, 11-9-175, 11-9-28, 11-9-77, Cecilia. Para los genotipos susceptibles (2) están: 11-9-101, 11-9-107, 11-9-150, 11-9-172, 11-9-44, 11-9-64, 11-9-8, 11-9-9, 12-4-173, 12-4-37. Por último, los genotipos que son muy susceptibles (1) son: 11-8-6, 11-9-106, 11-9-112, 11-9-27, 11-9-66, Carolina y con un valor de cero está 14-9-56.

Tabla 4: Valoración en los Veintisiete genotipos de papa mediante Escala de Daño Visual y Rendimiento Maceta (R. Maceta) obtenido después de someter las plantas a 38°C por 48 horas.

Genotipos	Estrés por calor		Total
	Daño visual	R. Maceta	
11-9-133	2	2	4
Fripapa	2	2	4
Leona Negra	2	2	4
Raymi Papa	2	2	4
11-9-01.	2	1	3
11-9-108	2	1	3
11-9-175	2	1	3
11-9-28.	2	1	3
11-9-77.	2	1	3
Cecilia	2	1	3
11-9-101	2	0	2
11-9-107	2	0	2
11-9-150	1	1	2
11-9-172	1	1	2
11-9-44	2	0	2
11-9-64	1	1	2
11-9-8	1	1	2
11-9-9	1	1	2
12-4-173	0	2	2
12-4-37	1	1	2
11-8-6	1	0	1
11-9-106	1	0	1
11-9-112	1	0	1
11-9-27	1	0	1
11-9-66	1	0	1
Carolina	1	0	1
14-9-56.	0	0	0

4. Respuestas fisiológicas.

4.1. Índice de daño por Fuga de electrolitos.

La figura 8 presenta la valoración del índice de daño por fuga de electrolitos en los veinte siete genotipos de papa, en donde los genotipos: Leona Negra, Fripapa, Raymipapa, 11-9-77, 11-9-133, 12-4-133, 11-9-01 presentan una mayor liberación de electrolitos después de haber sido sometidos a las altas temperaturas, con valores del 129% al 60%. Por otro lado, los genotipos: 11-9-172, 11-9-9, 14-9-56, 11-9-112, 11-9-150, 11-9-28, 11-9-64, 12-4-37, 11-9-8 presentan valores 58% al 1%. Los genotipos: 11-9-175, 11-9-107, 11-9-101, Carolina,

Cecilia, 11—9-66, 11-9-27, 11-9-44, 11-8-6, 11-9-106, 11-9-108 se encuentran con valores por debajo del 0%, presentado valores negativos.

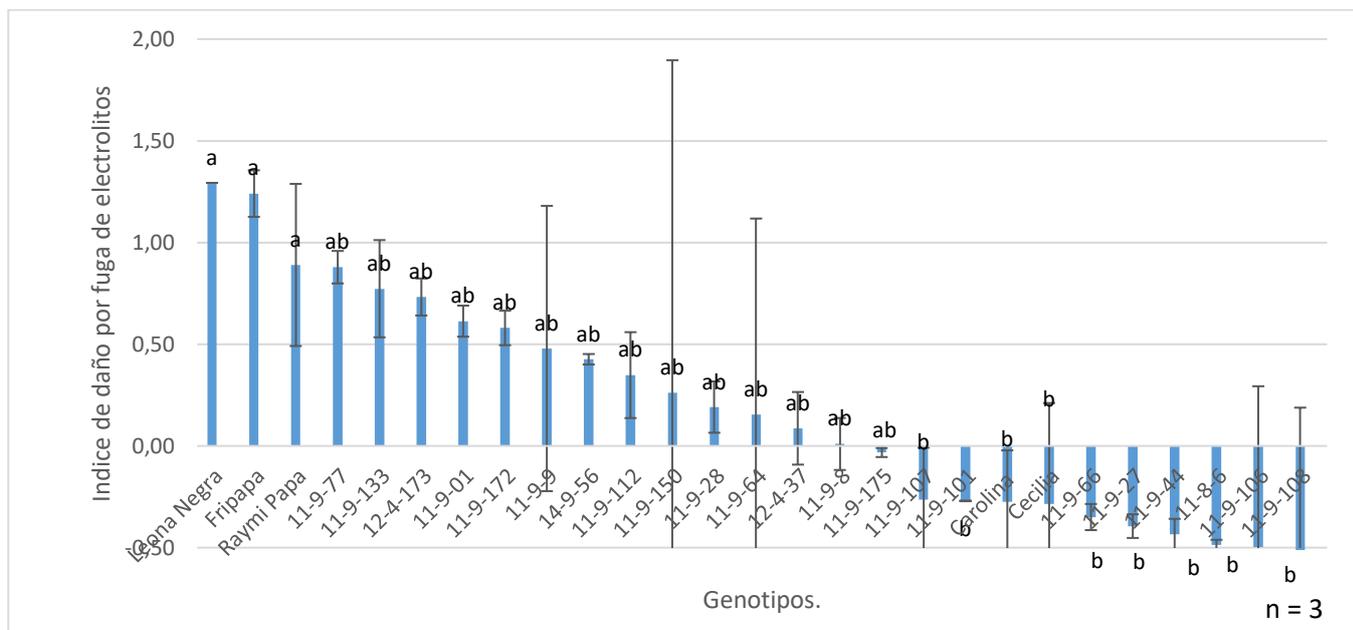


Figura 8: Índice de daño por fuga de electrolitos en veintisiete genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas. La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA con una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

De acuerdo con la prueba de Tukey, el primer rango de significación (a) nos dice que existe significancia con los genotipos que tienen valores mayores a cero y para el rango ab esta entre los valores de cero y uno. Mientras que para el rango b son todos los valores negativos del índice de fuga de electrolitos.

En base a la ponderación de la tabla 6 los genotipos con en el rango de 0,77 a 1,29 de fuga de electrolitos son los genotipos más tolerantes (11-9-133, Fripapa, Raymipapa, Leona Negra). Mientras que los genotipos más susceptibles (11-8-6, 11-9-106, 11-9-112, 11-9-27, 11-9-66, Carolina, 14-9-56) tienden a estar en los valores que tienen índices de fuga de electrolitos negativos.

4.2. Evaluación de la conductancia estomática.

4.2.1. Conductancia estomática sin estrés:

La Figura 9 en la conductancia estomática sin estrés expresa que los genotipos que tuvieron una tasa de transpiración en un rango de 700 mmol/m*s a 456 mmol/m*s fueron: Carolina, 11-9-44, Cecilia, 11-9-107, 11-9-108, 11-8-6, 11-9-133, 11-9-106, 11-9-27, 11-9-101, 11-9-175 y Leona Negra. Mientras que los genotipos que tienen una menor tasa de transpiración son: Raymipapa, 11-9-77, Frippapa, 12-4-173, 11-9-112, 11-9-66, 11-9-8, 11-9-9, 11-9-172, 11-9-150, 12-4-37, 11-9-1, 11-9-28, 14-9-56 y 11-9-64.

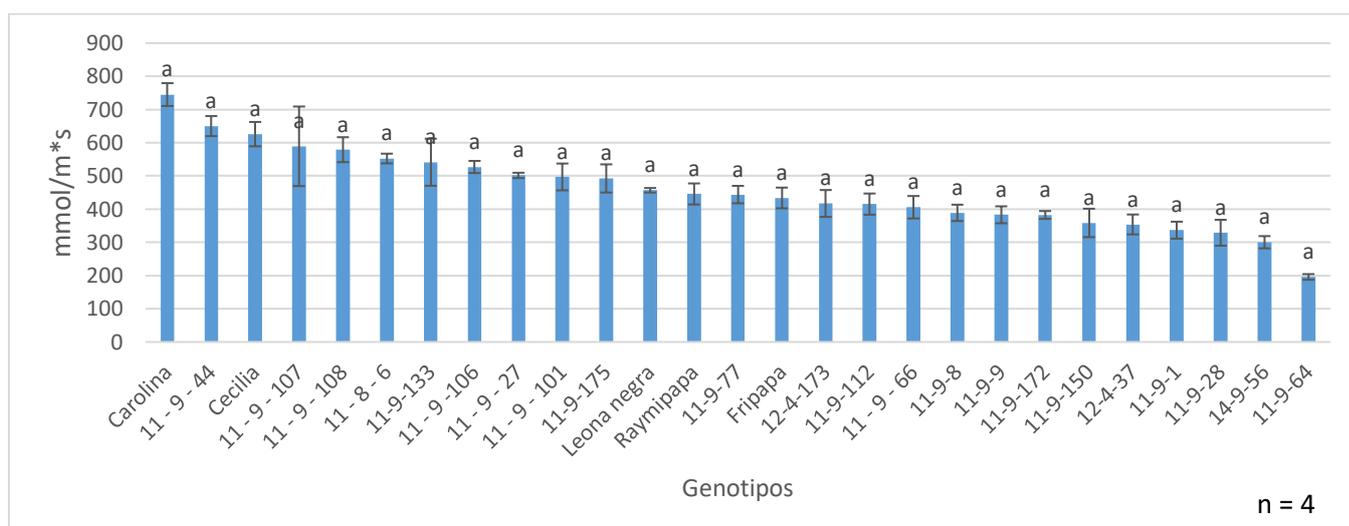


Figura 9: Conductancia estomática de 27 genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin ser sometidos al estrés por calor. La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA con una prueba de Tukey ($P < 0.05$).

De acuerdo con la prueba de Tukey, todos los genotipos obtuvieron el mismo rango, lo que quiere decir que no existe diferencia estadística significativa cuando los genotipos no fueron sometidos al estrés por calor.

4.2.2. Conductancia estomática relativa con estrés:

La figura 10 representa el porcentaje relativo de apertura estomática para los 27 genotipos inducidos a calor. Los genotipos con mayor apertura estomática con rangos mayores o iguales al 50% fueron: 11-9-172, 11-9-175, 11-9-28 y 11-9-77. Los de apertura estomática intermedia entre 25 y 49 % fueron: Carolina, Leona Negra, 11-8-6, 11-9-101, 11-9-66, 11-9-133, 11-9-1, 11-9-64, 12-4-173 y 14-9-56; finalmente tenemos a los genotipos con apertura estomática baja con rangos entre 5 y 24%: 11-9-27, Fripapa, 11-9-108, Raymi Papa, 12-4-37, 11-9-106, 11-9-9, 11-9-8, 11-9-112, Cecilia, 11-9-107, 11-9-44 y 11-9-150.

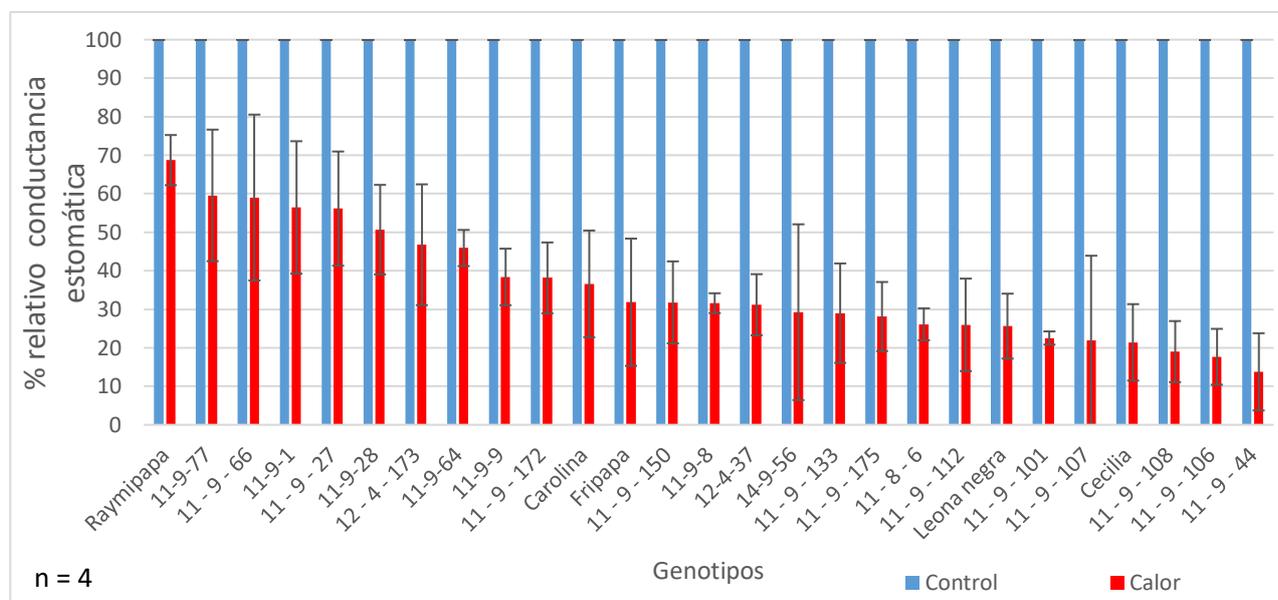


Figura 10: Porcentaje relativo de conductancia estomática en 27 genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) antes y después del estrés por calor.

En base a la ponderación de la tabla 6, podemos ver que los genotipos tolerantes (11-9-133, Fripapa, Raymipapa, Leona Negra) no tienen una relación con esta variable fisiológica, debido a que cada uno de los genotipos reacciona de diferente forma.

4.3. Evaluación de la fluorescencia de clorofila.

4.3.1. Fluorescencia de clorofila sin estrés:

Considerando que los valores de fluorescencia fueron transformados (\log_{10}), todos los veintisiete genotipos sin estrés están indicados en la figura 11. En este parámetro se pudo observar mucha homogeneidad, por lo que se dividió a los resultados en tres rangos, el genotipo que tiene una fluorescencia de 0,97 FV/O es: 11-9-28; los genotipos que se encuentran con valores 0,71 a 0,76 FV/O fueron: 11-9-108, 11-9-77, 12-4-37, 11-9-106, 11-9-175, Fripapa, 12-4-173, 11-9-150, 11-9-107, 11-9-172, 14-9-56, 11-9-1, 11-9-8, 11-9-27, 11-9-44, 11-9-101, 11-9-9, 11-9-64, Cecilia, 11-9-66, Raymipapa, 11-9-112, 11-9-133 y 11-8-6. Y los genotipos con valores por debajo de 0,67 FV/O: Leona Negra y Carolina.

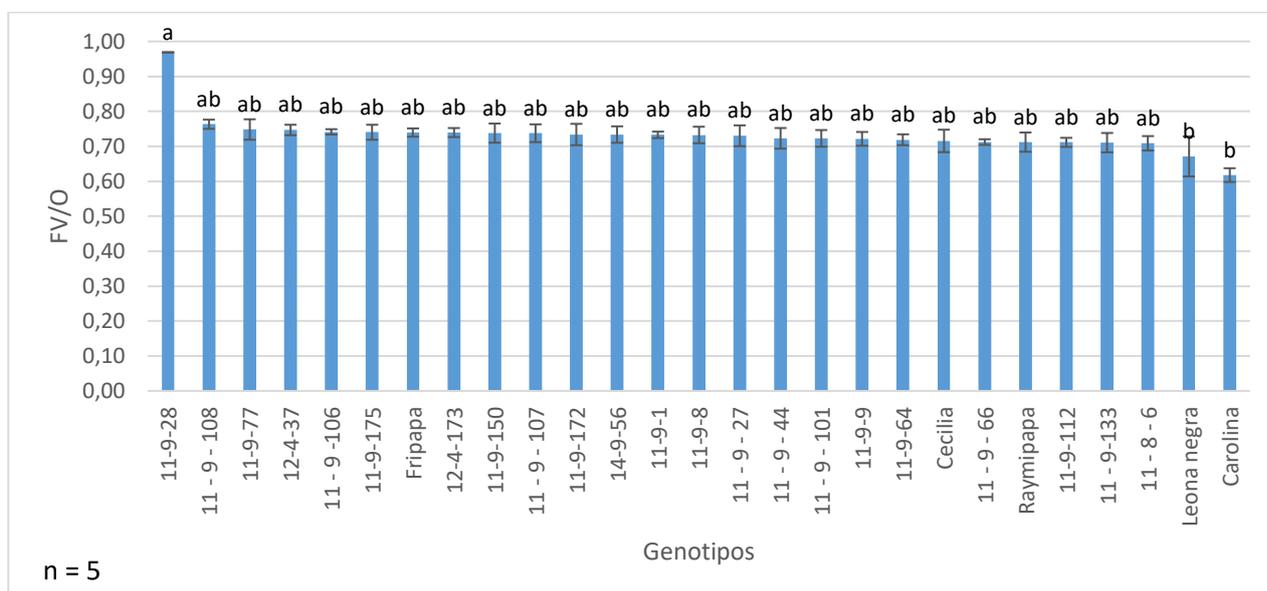


Figura 11: Fluorescencia de clorofila (FV/O) en plantas de papa sin estrés por calor. La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA con una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

De acuerdo con la prueba de Tukey, se obtuvo que 25 genotipos tienen dos rangos de significación (ab) fueron: 11-9-108, 11-9-77, 12-4-37, 11-9-106, 11-9-175, Fripapa,

12-4-173, 11-9-150, 11-9-107, 11-9-172, 14-9-56, 11-9-1, 11-9-8, 11-9-27, 11-9-44, 11-9-101, 11-9-9, 11-9-64, Cecilia, 11-9-66, Raymipapa, 11-9-112, 11-9-133 y 11-88-6. El genotipo 11-9-28 con rango a y los genotipos Leona Negra y Carolina, con rango b.

Ramos (2018), obtuvo un FV/O entre 4 y 2. En este estudio se obtuvieron rangos de 3 a 4 FV/O, con una mayor fluorescencia, en los dos estudios se encontraron valores similares para esta variable.

4.3.1. Fluorescencia de clorofila con estrés:

Considerando que los valores de fluorescencia fueron transformados (\log_{10}), todos los veintisiete genotipos con estrés están indicados en la figura 12. Se dividió a los resultados en tres rangos, el genotipo que tiene una fluorescencia de 0,46 a 0,67 FV/O es: 11-9-133, Leona Negra, 11-9-28, 11-9-175, Cecilia, 11-9-27, 11-9-106, 11-9-44, 12-4-173; los genotipos que se encuentran con valores 0,45 a 0,36 FV/O fueron: 11-9-8, 11-9-108, 11-9-1, 11-9-77, 11-9-112, 11-9-172, Fripapa, 11-9-64, 14-9-56, 11-9-150 y Raymipapa. Y los genotipos con valores por debajo de 0,33 FV/O: 11-9-107, 11-8-6, 11-9-66, 11-9-101, 12-4-37, 11-9-9 y Carolina.

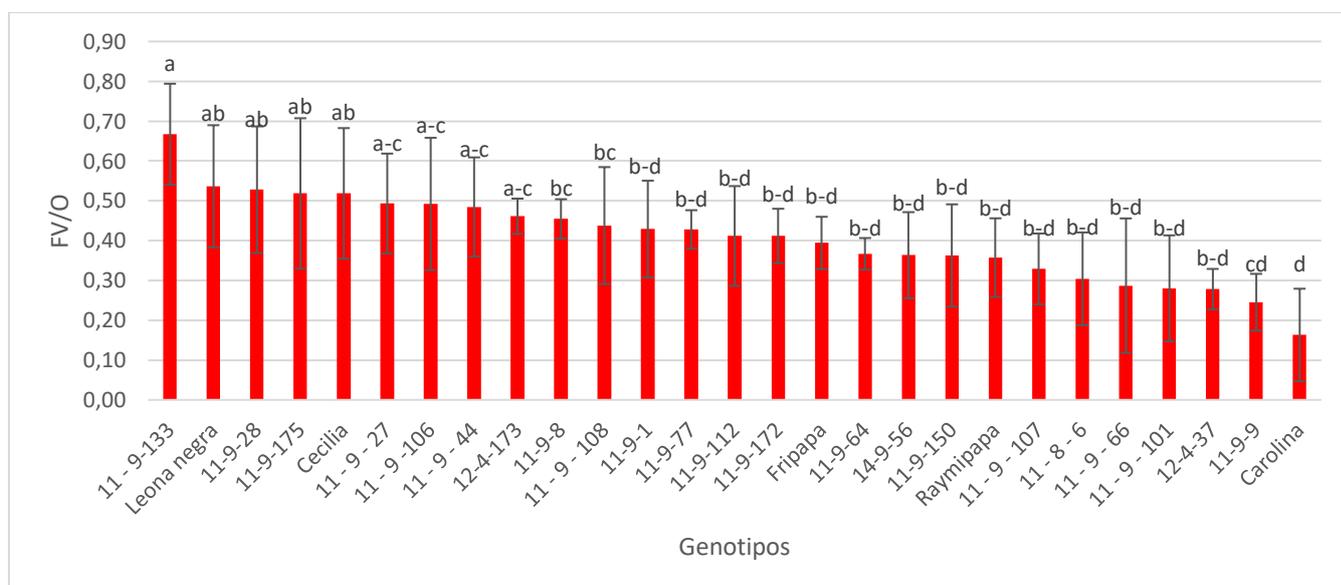


Figura 12: Fluorescencia de clorofila (FV/O) en plantas de papa con estrés por calor.

La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando

dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA con una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

De acuerdo con la prueba de Tukey, se obtuvo que el genotipo 11-9-133 tuvo un rango (a), los genotipos Leona Negra, 11-9-28, 11-9-175, Cecilia tienen rango (ab), los genotipos 11-9-27, 11-9-106, 11-9-44, 12-4-173 (ac), 11-9-8, 11-9-108 con rango (bc), los genotipos 11-9-1, 11-9-77, 11-9-112, 11-9-172, Fripapa, 11-9-64, 14-9-56, 11-9-150, Raymipapa, 11-9-107, 11-8-6, 11-9-66, 11-9-101, 12-4-37 tienen rango (bd) y los genotipos tienen el rango 11-9-9 (cd) y Carolina (d).

Ramos (2018), obtuvo un FV/O entre 4 y 2. En este estudio se obtuvieron rangos de 3 a 4 FV/O, con una mayor fluorescencia, en los dos estudios se encontraron valores similares para esta variable.

4.3.2. Fluorescencia relativa de clorofila con estrés:

En la figura 13 se indica los valores de los genotipos después de haber sido sometidos al estrés con porcentajes considerados altos entre 64 % y 94 %: 12-4-173, Leona Negra, 11-9-28, 11-9-175, Cecilia, 11-9-27, 11-9-106, 11-9-44, 12-4-17 y 11-9-8. Por otra parte, los genotipos que tienen porcentajes intermedios son los que están entre 50% al 60% fueron: 11-9-150, 14-9-56, 11-9-64, Fripapa, 11-9-172, 11-9-112, 11-9-77, y 11-9-1 y 11-9-108. Finalmente, los genotipos que están con un porcentaje bajo menor a 50% fueron: Raymipapa, 11-9-107, 11-8-6, 11-9-66, 11-9-101, 12-4-37, Carolina.

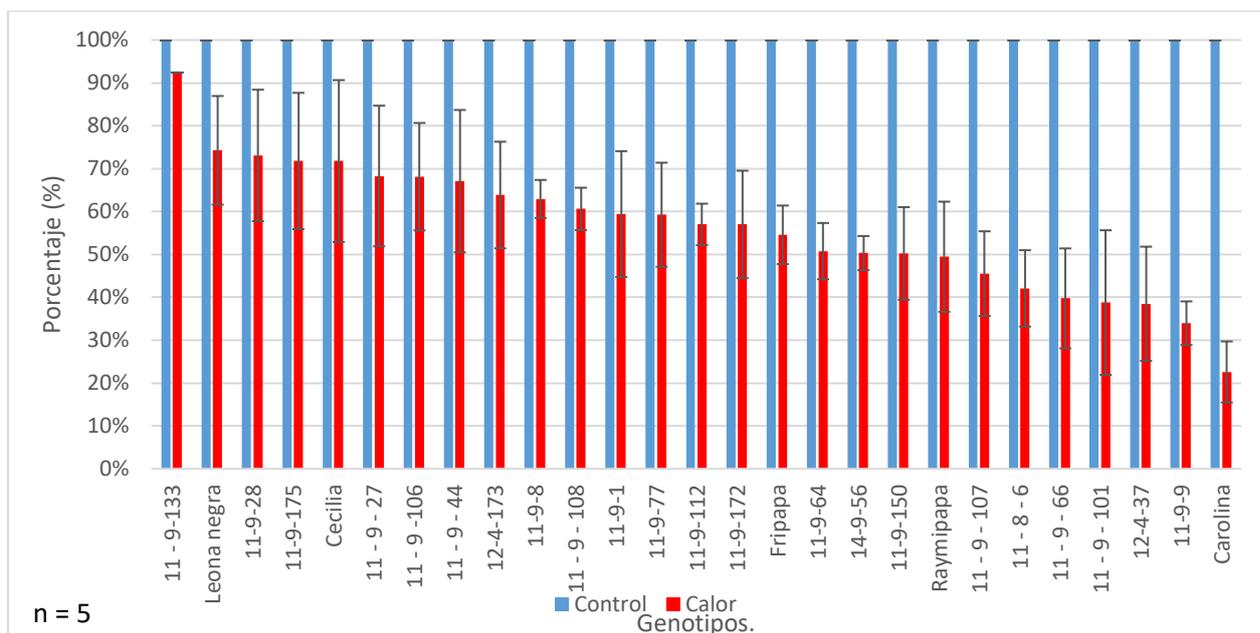


Figura 13: Porcentaje relativo de fluorescencia en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después del estrés por calor.

En base a la ponderación de la tabla 6, podemos ver que los genotipos tolerantes (11-9-133, Fripapa, Raymipapa, Leona Negra) no tienen una relación con esta variable fisiológica, debido a que cada uno de los genotipos reacciona de diferente forma.

4.4. Evaluación del contenido de clorofila

4.4.1. Contenido de clorofila sin estrés:

En la figura 14 podemos visualizar los resultados obtenidos en veintisiete genotipos, que están representados en sus unidades SPAD, mostrando el contenido de clorofila de los veintisiete genotipos sin estrés. Los genotipos que tienen valores entre 42 y 46 unidades SPAD: Carolina, 11-9-9, 12-4-37, 11-9-107, Fripapa, 12-4-173, 11-9-10, 11-9-172, 11-9-66, 11-9-27, Leona Negra, 11-9-1. Los genotipos que tienen valores entre 47 a 50 SPAD: 11-8-6, 11-9-133, 11-9-28, 11-9-101, Cecilia, 11-9-175, 11-9-64, 11-9-106, 14-9-56. Y los genotipos que tienen valores iguales o superiores a 50 unidades SPAD: 11-9-112, 11-9-77, 11-9-8, 11-9-44, 11-9-150 y Raymipapa.

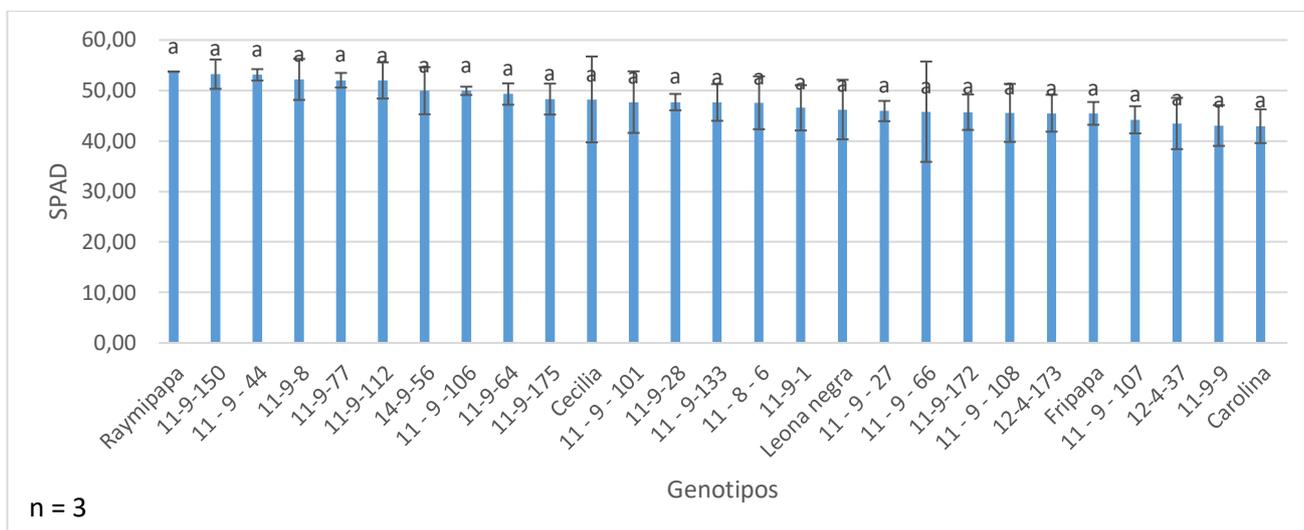


Figura 14: Contenido de clorofila en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin estrés por calor. La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA con una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

De acuerdo con la prueba de Tukey, todos los genotipos obtuvieron el mismo rango, lo que quiere decir que no existe diferencia significativa entre los genotipos que no fueron sometidos al estrés por calor.

4.4.2. Contenido de clorofila con estrés:

En la figura 15 los genotipos que tienen valores entre 23 y 42 unidades SPAD: Carolina, 12-4-173, Cecilia, 11-9-108, 11-9-175, Raymipapa, 11-9-28, Fripapa, Leona Negra, 11-9-44, 11-9-27. Los genotipos que tienen valores entre 42 a 52 unidades SPAD: 12-4-37, 11-9-77, 11-9-133, 11-8-6, 11-9-9, 11-9-172, 11-9-107, 11-9-1, 11-9-112, 11-9-101, 11-9-150, 11-9-66, 11-9-8, 11-9-64, 11-9-106, 14-9-56.

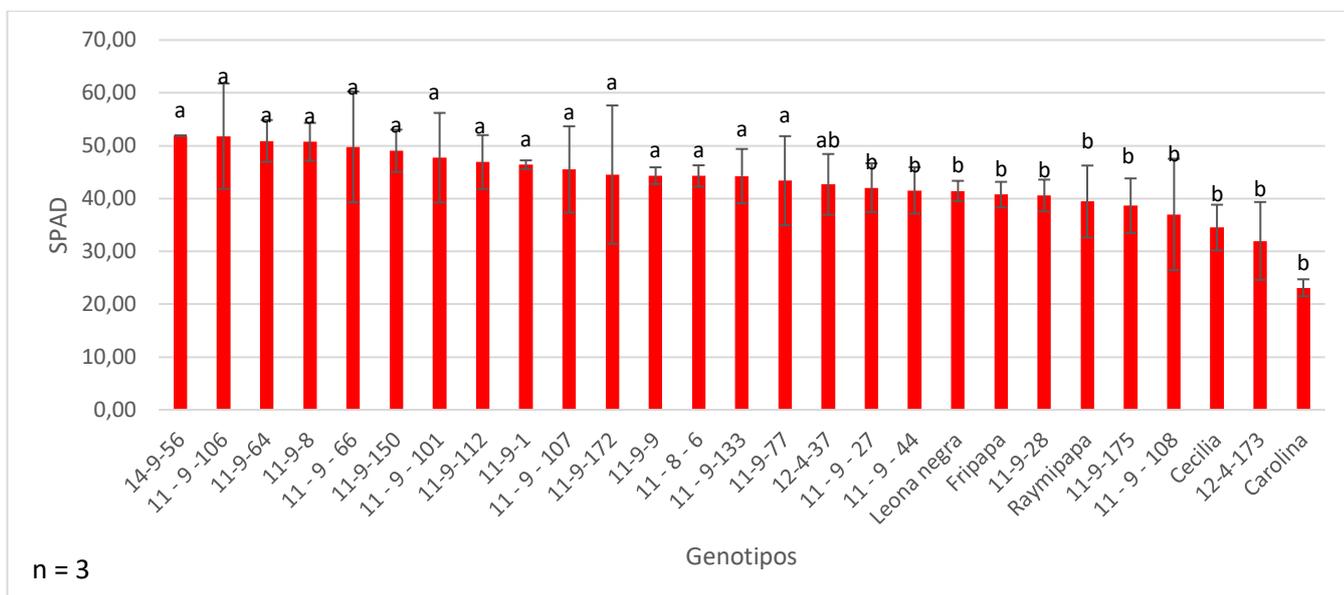


Figura 15: Contenido de clorofila en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin estrés por calor. La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA con una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

De acuerdo con la prueba de Tukey, todos los genotipos que obtuvieron el rango (a) fueron: 11-9-77, 11-9-133, 11-8-6, 11-9-9, 11-9-172, 11-9-107, 11-9-1, 11-9-112, 11-9-101, 11-9-150, 11-9-66, 11-9-8, 11-9-64, 11-9-106, 14-9-56, lo que quiere decir que estos no tienen diferenciación significativa; pero el genotipo 12-4-37 tiene la particularidad de ocupar dos rangos de significación (ab). Mientras que los genotipos con rango b son: Carolina, 12-4-173, Cecilia, 11-9-108, 11-9-175, Raymipapa, 11-9-28, Fripapa, Leona Negra, 11-9-44, 11-9-27; significa que estos tienen similar respuesta.

En base a la ponderación de la tabla 6 los genotipos tolerantes (Fripapa, Raymipapa, Leona Negra) comparten el rango (b), a excepción del genotipo (11-9-133) que tiene el rango (a). Mientras que los genotipos más susceptibles (11-8-6, 11-9-106, 11-9-112, 11-9-66, 14-9-56) tienen rango (a); y los genotipos 11-9-27, Carolina tienen rango (b), lo que quiere decir que no existe un comportamiento similar por cada genotipo.

4.4.3. Contenido de clorofila relativo sin estrés y con estrés:

Los genotipos que presento el valor más bajo en el rango de 48% a 85%: Carolina, 12-4-173, Cecilia, 11-9-108, 11-9-175, Raymipapa, 11-9-28, Fripapa. Para los genotipos que presentan valores intermedios entre 87 y 98% son: Leona Negra, 11-9-44, 11-9-27, 12-4-37, 11-9-77, 11-9-133, 11-8-6, 11-9-9, 11-9-172, 11-9-107, 11-9-1 y 11-9-112. Luego tenemos a los genotipos con mejores porcentajes relativos igualándolo al 100% del control o incluso superándolos: 11-9-101, 11-9-150, 11-9-66, 11-9-8, 11-9-64, 11-9-106, 14-9-56.

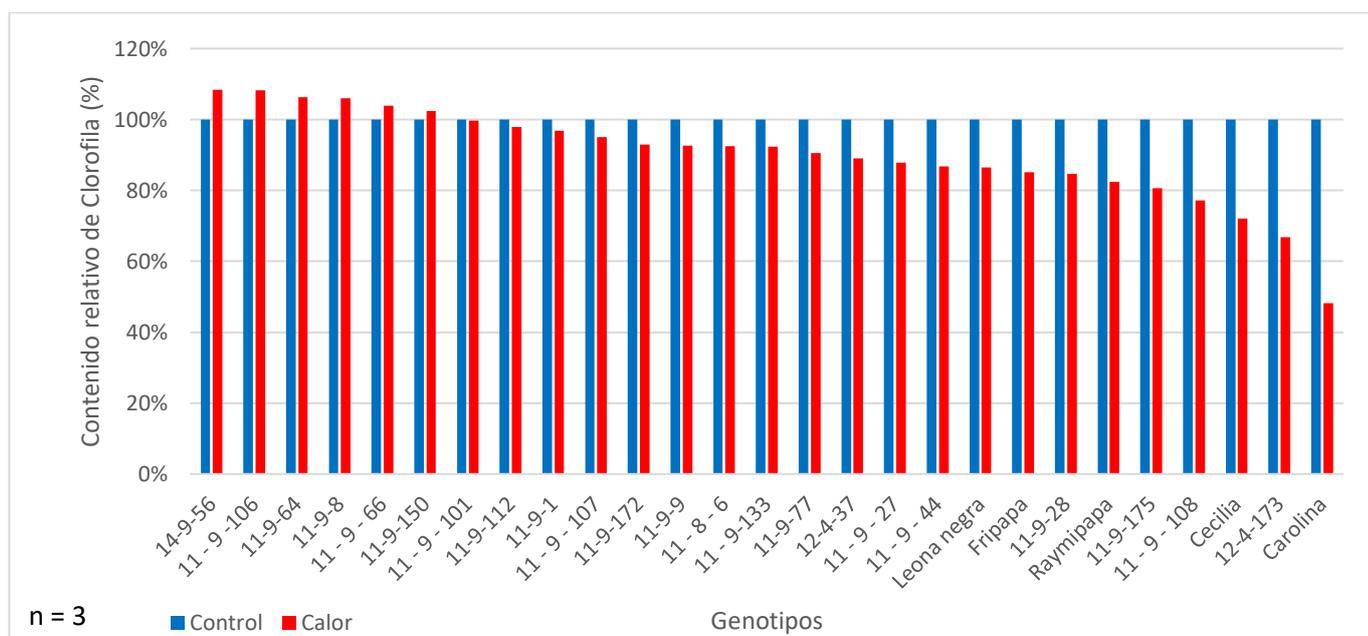


Figura 16: Porcentaje relativo del contenido de clorofila en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después del estrés por calor. La figura muestra la estimación del error para los 27 genotipos evaluados, considerando dos observaciones o repeticiones. Las diferentes letras indican la significancia estadística determinada por ANOVA con una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Según los resultados obtenidos por Ramos (2018), el contenido máximo que él obtuvo es de un 60% de fluorescencia, mientras que nosotros obtuvimos valores que superan al control siendo el mayor un 108%.

5. Correlaciones de Pearson entre las variables de rendimiento y las fisiológicas.

Para la obtención de las correlaciones se consideró una variable dependiente (rendimiento en macetas) y las variables independientes (parámetros fisiológicos con estrés por calor y sin estrés por calor). La tabla 5 nos indica las correlaciones de la producción en maceta de los 27 genotipos versus los parámetros fisiológicos y el rendimiento sin estrés en maceta. Los valores correspondientes a los valores de Pearson (p -value $> 0,05$ o p -value $< 0,05$) en las diferentes correlaciones con calor fueron: Daño visual (0,09), Conductancia Estomática (0,36), Fuga de electrolitos (4,30E-07), Contenido de Clorofila (0,89), Fluorescencia (0,04), y los parámetros sin estrés por calor: Rendimiento (2,25E-08), Fluorescencia (0,74), Contenido de Clorofila (0,87). Lo cual nos dice que la variable que tiene un valor mayor a 0,05 son variables no significativas (NS), las mismas que fueron: Daño Visual, Conductancia estomática, Contenido de Clorofila (con estrés y sin estrés) y Fluorescencia (con estrés y sin estrés); mientras que las variables que tienen un valor menor a 0,05 tuvieron significación estadística (S) fueron: Fuga de electrolitos con estrés por calor y Rendimiento sin estrés.

Sin embargo, al evaluar con el coeficiente de determinación (R^2) se comparó con los valores del coeficiente de correlación r , en una significación mayor a 0,05 en donde nos muestra que la significancia (S) de igual forma se encuentra en: Rendimiento en macetas vs Fuga de electrolitos con estrés por calor (0,647) y Rendimiento en macetas vs Rendimiento sin estrés (0,720). En términos porcentuales las dos correlaciones tuvieron valores de 64,7% y 72% respectivamente. Y las demás correlaciones no presentaron significancia estadística (NS).

Tabla 5: Correlaciones rendimiento en macetas versus parámetros fisiológicos.

Variable 1	Estrés	Variable 2	r	R2	p-value	Significancia
Rendimiento Macetas con estrés por Calor.	Sin Estrés	Rendimiento	0,849	0,720	2,3 E - 8	S
	Calor	F. Electrólitos	0,804	0,647	4,3 E -7	S
	Calor	Daño visual	-0,331	0,109	0,092	NS
	Calor	Fluorescencia	0,206	0,042	0,304	NS
	Calor	C. Estomática	-0,082	0,007	0,685	NS
	Sin Estrés	Fluorescencia	-0,067	0,005	0,74	NS
	Sin Estrés	Contenido de Clorofila	0,034	0,001	0,87	NS
	Calor	Contenido de Clorofila	0,027	0,001	0,89	NS

VIII. CONCLUSIONES:

- Los genotipos que tuvieron un mejor rendimiento en campo con siembra directa sin estrés fueron: Raymipapa, 11-9-106, 11-9-133, Leona Negra, Fripapa y 11-9-172. Y de las plantas que fueron trasplantas con estrés por calor fueron: 11-9-133, 11-9-175, Fripapa, 11-9-172, 11-9-01, Leona Negra.
- Los genotipos que tuvieron mayor nivel de tolerancia al estrés por calor con base en la estandarización de Daño visual y rendimiento en maceta fueron: 11-9-133, Fripapa, Leona Negra, Raymi Papa.
- Los genotipos que tuvieron menor nivel de tolerancia al estrés por calor con base en la estandarización de Daño visual y rendimiento en maceta fueron: 11-8-6, 11-9-106, 11-9-112, 11-9-27, 11-9-66, Carolina, 14-9-56.
- Los genotipos tolerantes antes mencionados en la variable de índice de daño de fuga de electrolitos tienden a tener un mayor índice de fuga de electrolitos, mientras que los genotipos más susceptibles tienden a tener valores que tienen índices de fuga de electrolitos negativos.
- Las variables fisiológicas: Contenido de clorofila, Conductancia estomática y Fluorescencia no muestran una relación de la tolerancia al estrés por calor con las respuestas fisiológicas de cada genotipo, debido a que cada genotipo reacciona de diferente manera.

- La correlación entre el rendimiento (kg por planta) sin estrés con el rendimiento después del estrés, induce a la conclusión que las variedades que más producen en condiciones de no estrés, van a producir más, en condiciones de estrés por calor.

IX. RECOMENDACIONES:

- Con los genotipos que presentaron mejores respuestas con relación a el rendimiento en maceta y los parámetros fisiológicos se debería implementar experimentos en varios ambientes y con un mayor número de repeticiones.
- Para la medición de la conductancia estomática la evaluación se debe ejecutar en un lugar con condiciones controladas con baja humedad, temperatura constante y sin marcadas variaciones ambientales para tener valores más confiables de los genotipos.
- El tamaño de la muestra de los diferentes genotipos para cada uno de las variables evaluadas debería ser estandarizado, incluyendo un mismo número de observaciones por genotipo.
- En base a la respuesta de los mejores genotipos se debería realizar análisis genéticos moleculares, para determinar cuáles son los genes que están asociados con la expresión de la tolerancia al estrés por calor.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Andrade, M., & Sherwood, S. (2002). La Papa en el Ecuador. En INIAP. Quito.

Beatriz, D. (2014). SIMULACIÓN DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA INTERNA POR EFECTO DE LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO, VARIEDAD DE PAPA Y FORMA DE ALMACENAJE. Huacayo, Perú: Universidad Nacional del centro de Perú. Obtenido de

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2654/P%C3%A9rez%20Sueldo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chaves, N. (2015). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. En C. Commons, Proyectos 736-A2-912 y 736-A2-914 (págs. 244 - 245). San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n1/43748637020.pdf>

CIP. (Agosto de 2006). *potato*. (S. d. Modificados, Ed.) Obtenido de <https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/003524.pdf>

Corrales, A. (2019). Evaluación del rendimiento y respuestas fisiológicas al estrés de sequía en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*). Quito: Universidad San Francisco de Quito.

Craita, E., & Gerats, T. (2013). *Planttolerancetohightemperatureinachangingenvironment:scientificfundamentalsandproductionofheatstress-tolerantcrops*. Nijmegen: Radboud University Nijmegen.

Ekanayake, I. (1994). Estudios sobre el Estrés por Sequía y la necesidad de Riego de la Papa. Lima: CIP.

FAO. (2008). Obtenido de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/cultivo.html>

Flint, H. (1966). A Useful Expression of Freezing Injury to Plant Tissues as Determinated by the Electrolytic Method. *Index of Injury*:(169).

Gisiberica. (2020). *Gisiberica*. Obtenido de <http://www.gisiberica.com/MEDIDOR%20DE%20CLOROFILA/MCL502.htm>

González, S. (4 de Diciembre de 2008). LA FLUORESCENCIA DE LA CLOROFILA a COMO HERRAMIENTA EN LA INVESTIGACIÓN DE EFECTOS TÓXICOS EN EL APARATO FOTOSINTÉTICO DE PLANTAS Y ALGAS. *Revista*

de Educación Bioquímica, 27(4), 119-129. Obtenido de <file:///C:/Users/Renato/Downloads/49011464003.pdf>

Gutiérrez, N. C. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Obtenido de <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/79308/Respuestas%20al%20estr%20a%20por%20calor%20en%20los%20cultivos.%20II.%20Tolerancia%20y%20tratamiento%20agron%20c3%b3mico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernández, J. (10 de Octubre de 2013). Fluorescencia de clorofilas. Grupo de Biotecnología de Frutales (CEBAS-CSIC). Obtenido de <https://antioxidantsgroup.wordpress.com/2013/10/10/fluorescencia-de-clorofilas/#:~:text=La%20fluorescencia%20es%20un%20fen%C3%B3meno,esto%20tiene%20en%20el%20proceso>

High Tech Service. (2019). htsperu. Obtenido de <https://www.htsperu.com.pe/equipos-de-monitoreo-medici%C3%B3n-ambiental/instrumentos-para-monitoreo-de-plantas/sensores-de-temperatura-para-plantas/porometro-sc-1-leaf-ict-international>

Inostroza, J. (2009). BOTÁNICA Y MORFOLOGÍA DE LA PAPA. Temuco: INIA. Obtenido de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36470.pdf>

León, A., & Espinoza, E. (2018). INFORME TECNICO PROYECTO PAPA . Quito: USFQ.

Magne, J., & García, R. (2009). Variedades nativas de papa. . En Tecnología tangible para afrontar el efecto causado por la helada y sequía. Revista Latinoamericana de la Papa.

Marassi, M. (2019). EL BALANCE HÍDRICO: TRANSPIRACIÓN Y CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA. Argentina: UNNE. Obtenido de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/TrasnpiracionMadrid.pdf>

Miranda, Y. (Diciembre de 2017). EFECTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL CULTIVO DE LA PAPA (SOLANUM TUBEROSUM L.) EN LA CPA “AMISTAD CUBANO - BÚLGARA”. Revista Científica Multidisciplinar, 3(3), 45-64. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/325473213_EFECTO_DE_LA_VARIABILIDAD_CLIMATICA_EN_EL_CULTIVO_DE_LA_PAPA_SOLANUM_TUBEROSUM_L_EN_LA_CPA_AMISTAD_CUBANO_-_BULGARA

Monteros, C. (2010). Cultivares de papas Nativas sierra centro norte del Ecuador. Quito: INIAP. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3224/1/iniapscpm1792010.pdf>

Montesdeoca, F. (2013). GUIA FOTOGRAFICA DE LAS PRINCIPALES PLAGAS DEL CULTIVO DE LA PAPA EN ECUADOR. INIAP, 58-65. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=_RXjAAAAQBAJ&pg=PT56&lpg=PT56&dq=B.%09Factores+abi%C3%B3ticos+en+papa:&source=bl&ots=aidjllqJNn&sig=ACfU3U19__08mRuSmecLZgyTmQL83ckQKA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwio5JeUvL7qAhVjiOAKHZK3BVAQ6AEwB3oEAcQAQ#v=onepage&q=B.%0

Moreno, M. (2017). Efecto de las hormonas vegetales y el fotoperiodo en la producción de microtubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.). Revista colombiana de biotecnología, 19(2), 29-38. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/69499/pdf>

Nazar, M. C. (2011). Metodos de mejora en plantas de propagación vegetativa. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. Obtenido de <http://agro.unc.edu.ar/~mejogeve/Agamicas.pdf>

Pino, M. T. (2016). Efectos de las heladas en el cultivo de papa, y desafíos del mejoramiento genético. (Primera ed.). Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/305223353_Efectos_de_las_heladas_en_el_cultivo_de_papa_y_desafios_del_mejoramiento_genetico

Porco, P. (2011). Resistencia genética a estrés hídrico por sequía en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero. Cochabamba: Fundación PROINPA. Obtenido de <file:///C:/Users/Renato/Downloads/Dialnet-ResistenciaGeneticaAEstresHidricoPorSequiaEnVaried-5512051.pdf>

Raffino, M. E. (16 de Junio de 2020). concepto. Obtenido de <https://concepto.de/factores-abioticos/>

Ramos, H. (2018). Evaluación de las respuestas fisiológicas y rendimiento durante el estrés de calor en veinticuatro genotipos de papa (*Solanum tuberosum*). Quito: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.

Ribeiro, A. (2015). Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de *lisanthus* en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. IDESIA, 33(2), 97-105.

Robles, A. (2009). Factores que limitaán la productividad y rentabilidad del cultivo de papa. Buenavista, México: Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

Roman, M., & Hurtado, G. (Diciembre de 2002). CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL. Obtenido de CENTA: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Papa.pdf>

Sánchez, J. (2014). Introducción al Diseño Experimental. Quito: Impresión Giro Diseño Creativo.

Sánchez, J. (2018). Introducción al dieño experimental. Quito: Giro creativo.

Sánchez, J. (2018). Introducción al diseño experimental. Quito: Giro Creativo.

SEGURA, A. C. (2009). Estrés térmico. En Contenido de la asignatura Fisiología Vegetal Ambiental en la titulación LICENCIADO EN BIOLOGÍA (pág. 14). Sevilla: Universidad de Sevilla. Obtenido de https://rodas5.us.es/file/f9697d2a-5944-6efe-66aa-29db833bedfb/1/estres_termico_apuntes_SCORM.zip/page_14.htm

Torres, L. (14 de Octubre de 2011). CIP. Obtenido de https://cipotato.org/press_room/blogs/manejo-de-suelo-en-el-cultivo-de-papa/

Valverde, F. (2012). Manejo de fertilizantes. Quito: CIP. Obtenido de https://cipotato.org/press_room/blogs/manejo-de-fertilizacion-en-el-cultivo-de-papa/#fuentes-y-formas-de-aplicaci%C3%B3n-de-los-fertilizantes

Vega, S. y. (1995). Screening the U.S. potato collection for frost hardiness. American Potato Journal(72), 13-21.

XI. Anexos:

Anexo 1: ANOVA Rendimiento campo sin estrés.

Fuentes	gl	SC	CM	F cal.	F esp. 0,05
Total	41	4,612105905			
Bloques	1	0,032940333	0,032940333	0,450237671	4,35
Tratamiento	20	3,115923611	0,155796181	2,12946573	2,12
Error experimental	20	1,463241961	0,073162098		

CV: 10,54

FC: 276,64

Anexo 2: ANOVA Rendimiento campo con estrés.

Fuentes	gl	SC	CM	F cal.	F esp.
					0,05
Total	41	6,77			
Bloques	1	0,0009597	0,0009597	0,03	4,35
Tratamiento	20	6,12	0,31	9,44	2,12
Error experimental	20	0,65	0,03		

CV: 6,51

FC: 321,74

Anexo 3: ANOVA Rendimiento macetas sin estrés.

Fuentes	gl	SC	CM	F cal.	F esp.
					0,05
Total	134	1,838456484			
Bloques	4	0,035686048	0,00892151	1,72918331	2,46
Tratamiento	26	1,266195029	0,04869981	9,43908357	1,63
Error experimental	104	0,536575408	0,00515938		

CV: 24,51

FC: 11,596

Anexo 4: ANOVA Rendimiento macetas con estrés.

Fuentes	gl	SC	CM	F cal.	F esp.
					0,05
Total	134	1,441845984			
Bloques	4	0,026028775	0,00650719	1,60861094	2,46
Tratamiento	26	0,995113771	0,03827361	9,46142751	1,63
Error experimental	104	0,420703438	0,00404523		

CV: 32,43

FC: 5,19

Anexo 5: ANOVA Daño visual con estrés.

Fuentes	gl	SC	CM	F cal.	F esp.
					0,05
Total	53	103,7281481			
Bloques	1	0,000740741	0,000740741	0,001899474	4,22
Tratamiento	26	93,58814815	3,59954416	9,230274693	1,95
Error experimental	26	10,13925926	0,38997151		

CV: 24,83

FC: 341,51

Anexo 6: ANOVA Conductancia estomática con estrés.

Fuentes	gl	SC	CM	F cal.	F esp.
					0,05
Total	43	1,1359			
Bloques	3	0,0237	0,0079	0,2475	2,92
Tratamiento	10	0,1555	0,0155	0,4876	2,16
Error experimental	30	0,9567	0,0319		

CV: 16,24

FC: 320,47

Anexo 7: ANOVA Fuga de Electrolitos con estrés.

Fuentes	gl	SC	CM	F cal.	F esp.
					0,05
Total	80	35,82			
Bloques	2	0,78	0,39	1,78	3,18
Tratamiento	26	23,65	0,91	4,15	1,74
Error experimental	52	11,39	0,22		

CV: 1,25

FC: 2,902

Anexo 8: ANOVA Conductancia estomática con estrés.

Fuentes	gl	SC	CM	F cal.	F esp.
					0,05
Total	80	5473,52			
Bloques	2	5,15	2,57	0,06	3,18
Tratamiento	26	3294,54	126,71	3,03	1,74
Error experimental	52	2173,84	41,80		

CV: 14,99

FC: 150794,14

Anexo 9: ANOVA Fluorómetro con estrés.

Fuentes	gl	SC	CM	F cal.	F esp.
					0,05
Total	134	3,076			
Bloques	4	0,123	0,031	2,283	2,46
Tratam.	26	1,547	0,060	4,404	1,63
Error exp.	104	1,405	0,014		

CV: 28,53

FC: 22,41