

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Evaluación de las respuestas fisiológicas y rendimiento
durante el estrés de calor en veinticuatro genotipos de
papa (*Solanum tuberosum*)**

Proyecto de investigación

Hernán Bruce Ramos Galarza

Ingeniería en Agroempresas

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

Ingeniero en Agroempresas

Quito, 19 de diciembre del 2018

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO CIENCIAS E INGENIERÍAS

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Evaluación de las respuestas fisiológicas y rendimiento durante el estrés de calor en veinticuatro genotipos de papa (*Solanum tuberosum*)

Hernán Bruce Ramos Galarza

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Antonio León, Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 19 de diciembre del 2018

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:

Hernán Bruce Ramos Galarza

Código:

00123371

Cédula de Identidad:

0603573593

Lugar y fecha:

Quito, 19 de diciembre del 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, Hernán y Rocío por brindarme su apoyo y confianza de manera incondicional en todo momento, gracias a ustedes he logrado superar varios obstáculos y culminar esta etapa de mi vida. De igual manera, quiero agradecer a mi familia, a los que están y los que ya no me acompañan, por estar pendientes dentro de mi crecimiento académico, personal y profesional. Gracias a mis amigos que han estado a lo largo de estos años. Por otro lado, quiero agradecer de manera especial a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) en el proyecto “Marker-assisted selection for potato germoplasm adapted to biotic and abiotic stresses caused by global climate change” por otorgar los recursos económicos necesarios para realizar la experimentación y permitirme participar en el proyecto de mayor trascendencia en el cultivo de papa frente al cambio climático. También quiero agradecer a mis profesores Antonio León, Carlos Ruales, Eduardo Uzcategui, Gabriela Albán, María Yumbla y Mario Caviedes por compartir su conocimiento y sus experiencias durante esta etapa. Finalmente, quiero agradecer al Grupo Papa-USFQ por el apoyo durante el proyecto, especialmente a Esteban Espinosa.

RESUMEN

Las altas temperaturas son un tipo de estrés abiótico que limitan el crecimiento, desarrollo y la productividad del cultivo de papa, ya que causan cambios bioquímicos, fisiológicos y morfológicos en la planta. A lo largo de este estudio se evaluó a 24 genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) bajo las siguientes condiciones de altas temperaturas (38°C por 48 horas). Dentro del material vegetal utilizado para esta experimentación, se encuentran variedades comerciales y líneas promisorias obtenidas de programas de mejoramiento genético del INIAP. Después del estrés por calor, se emplearon seis metodologías para evaluar el estado del daño y respuestas fisiológicas, estas fueron: el índice de daño mediante escala visual, el índice de daño celular mediante la fuga de electrolitos, la medición de la apertura estomática, la medición de la fluorescencia de la clorofila, el contenido de clorofila en las plantas y la cuantificación del rendimiento basado en el peso total de tubérculos por planta. Todas las metodologías mencionadas anteriormente fueron utilizadas para determinar las respuestas fisiológicas después del estrés y además también para evaluar la tolerancia o susceptibilidad a condiciones de altas temperaturas. Los genotipos considerados como tolerantes son: 12-6-29 y 399090,15. Los genotipos medianamente tolerantes son: Natividad, 12-4-72, Josefina, Estela, 39902,52, 12-4-145, 12-4-45 y Super Chola. Finalmente, los genotipos considerados como susceptibles son: 399075,26, 98-38-12, Yana Shungo, 07-32-15, Libertad, 399062-115, Puca Shungo, 399079,27, 380496,2, 98-2-6, Victoria, 07-46-8, 97-25-3 y 07-40-1.

Palabras clave: Altas temperaturas, Calor, Nivel de daño Foliar, Fuga de electrolitos, Rendimiento, Tolerancia, Susceptibilidad

ABSTRACT

High temperatures are a type of abiotic stress that limit the growth, development and productivity of the potato crop, as they cause biochemical, physiological and morphological changes in the plant. Throughout this study, 24 genotypes of potato (*Solanum tuberosum*) were evaluated under the following conditions of high temperatures (38 ° C for 48 hours). Among the plant material used for this experimentation, there are commercial varieties and promising lines obtained from INIAP genetic improvement programs. After heat stress, six methodologies were used to assess the damage status and physiological responses, these were: the damage index by visual scale, the cell damage index by electrolyte leakage, the measurement of the stomatal opening, the Chlorophyll fluorescence measurement, chlorophyll content in plants and quantification of yield based on the total weight of tubers per plant. All the methodologies mentioned above were used to determine the physiological responses after stress and also to assess tolerance or susceptibility to high temperature conditions. The genotypes considered as tolerant are: 12-6-29 and 399090.15. The moderately tolerant genotypes are: Natividad, 12-4-72, Josefina, Estela, 39902,52, 12-4-145, 12-4-45 and Super Chola. Finally, the genotypes considered as susceptible are: 399075,26, 98-38-12, Yana Shungo, 07-32-15, Libertad, 399062-115, Puca Shungo, 399079.27, 380496.2, 98-2-6 , Victoria, 07-46-8, 97-25-3 and 07-40-1.

Key words: High temperatures, Heat, Foliar Damage Level, Electrolyte Leak, Yield, Tolerance, Susceptibility.

Tabla de Contenido

I.	Introducción	15
A.	Descripción.....	15
B.	Importancia de la papa a nivel mundial	16
C.	Importancia de la papa en el Ecuador	17
D.	Diversidad Genética	19
E.	Factores Bióticos	19
F.	Factores Abióticos	20
1.	Fotoperiodo.....	20
2.	Sequía	21
3.	Temperatura.....	22
G.	Altas Temperaturas	23
H.	El Cambio Climático en la Producción de Papa	24
II.	Justificación	27
III.	Objetivo General.....	30
IV.	Objetivos Específicos.....	30
V.	Hipótesis	30
VI.	Metodología.....	30
A.	Material Vegetal.....	30
B.	Localización del Ensayo.....	31
C.	Sustrato para la Siembra.....	31

D.	Condiciones del cultivo (Riego, Nutrición y Fumigación)	32
E.	Condiciones del Ensayo	32
1.	Etapa Fenológica	32
2.	Exposición al calor	33
F.	Metodología de Evaluación	35
A.	Daño Foliar mediante Escala de Daño Visual	35
B.	Índice de Daño por fuga de Electrolitos en Condiciones de Calor.....	35
C.	Rendimiento obtenido.....	37
D.	Conductancia Estomática	37
E.	Fluorescencia de la Clorofila.....	37
F.	Contenido de Clorofila	38
G.	Unidad Experimental.....	39
H.	Aleatorización.....	39
VII.	Resultados.....	40
A.	Daño Foliar mediante Escala de Daño Visual.....	40
1.	Nivel de Daño Foliar	40
2.	Porcentaje de Daño Visual	41
B.	Rendimiento obtenido	42
1.	Rendimiento sin Estrés vs. Con Estrés de Calor	42
2.	Rendimiento Relativo	43
C.	Correlación	44

1.	Rendimiento Sin Estrés versus Estrés por Calor	44
2.	Daño Foliar versus Rendimiento por Calor	45
D.	Índice de Daño por Fuga de Electrolitos	46
1.	Correlación Fuga de Electrolitos versus Daño Visual.....	47
2.	Correlación Fuga de Electrolitos versus Rendimiento por Calor	48
E.	Conductancia Estomática	49
1.	Conductancia Estomática sin Estrés	49
2.	Apertura Estomática Relativa Después de Estrés por Calor.....	50
3.	Correlación Conductancia Estomática versus Daño Visual	51
4.	Correlación Conductancia Estomática versus Rendimiento despues del tratamiento de Calor.....	52
F.	Fluorescencia de la Clorofila	53
1.	Fluorescencia de la Clorofila sin Estrés	53
2.	Fluorescencia Relativa de la Clorofila Después de Estrés por Calor	54
3.	Correlación Fluorescencia de la clorofila versus Daño Visual despues del tratamiento de Calor.....	55
4.	Correlación Fluorescencia de la clorofila versus Rendimiento despues del tratamiento de Calor.....	56
G.	Contenido de Clorofila.....	57
1.	Contenido de Clorofila sin Estrés.....	57
2.	Contenido Relativo de Clorofila Después de Estrés por Calor	58

3.	Correlación del Contenido de Clorofila versus Daño Visual despues del tratamiento de Calor.....	59
4.	Correlación del Contenido de Clorofila versus Rendimiento despues del tratamiento de Calor.....	60
H.	Valoración de la tolerancia o susceptibilidad de los genotipos.....	61
VIII.	Discusión.....	63
A.	Daño Foliar mediante Escala Visual	64
B.	Rendimiento Obtenido	64
C.	Correlación.....	65
D.	Índice de Daño por Fuga de Electrolitos	66
E.	Conductancia Estomática	68
F.	Fluorescencia de la Clorofila	69
G.	Contenido de Clorofila.....	70
H.	Valoración	71
IX.	Conclusiones	72
X.	Recomendaciones	73
XI.	Bibliografía	74
XII.	Anexos	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución de la Siembra para posterior experimentación.....	39
Tabla 2: Ponderación del daño visual en tres escalas.	61
Tabla 3: Ponderación del rendimiento en tres escalas.	61
Tabla 4: Valoración en los veinticuatro genotipos de papa mediante Escala de Daño Visual y Rendimiento obtenido después de someter las plantas a 38°C por 48 horas.	62
Tabla 5: Conductancia Estomática de los veinticuatro genotipos de papa expuestos a una temperatura de 38°C por 48 horas.	84
Tabla 6: Fluorómetro de los veinticuatro genotipos de papa expuestos a una temperatura de 38°C por 48 horas.	84
Tabla 7: SPAD de los veinticuatro genotipos de papa expuestos a una temperatura de 38°C por 48 horas.....	85
Tabla 8: Daño Visual de los veinticuatro genotipos de papa expuestos a una temperatura de 38°C por 48 horas	85
Tabla 9: Fuga de Electrolitos de los veinticuatro genotipos de papa expuestos a una temperatura de 38°C por 48 horas.	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Nivel de daño foliar a 38°C por 48 horas, usando la metodología de Escala Visual.	40
Figura 2: Índice de daño por el escala visual en veinticuatro genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas.	41
Figura 3: Rendimiento de los veinticuatro genotipos de papa en control funda versus tratamiento por calor en funda.	42
Figura 4: Porcentaje relativo de rendimiento de los veinticuatro genotipos de papa en control funda versus tratamiento por calor en funda.	43
Figura 5: Correlación del rendimiento de los veinticuatro genotipos de papa sembrados en funda sin estrés versus estrés por calor.	44
Figura 6: Correlación del porcentaje de daño visual versus el rendimiento en kg de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.	45
Figura 7: Índice de daño por fuga de electrolitos en veinticuatro genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas.	46
Figura 8: Correlación del daño por fuga de electrolitos versus el porcentaje de daño visual de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.	47
Figura 9: Correlación del daño por fuga de electrolitos versus el rendimiento en kg de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.	48
Figura 10: Conductancia estomática en veinticuatro genotipos de papa sin tratamiento de calor expresados en mmol/m*s.	49

Figura 11: Porcentaje relativo de apertura estomática en veinticuatro genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas.	50
Figura 12: Correlación de la conductancia estomática versus el porcentaje de daño visual de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.	51
Figura 13: Correlación de la conductancia estomática versus el rendimiento en kg de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.	52
Figura 14: Fluorescencia en veinticuatro genotipos de papa sin tratamiento de calor expresados en FV/O.	53
Figura 15: Porcentaje relativo de fluorescencia en veinticuatro genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas.	54
Figura 16: Correlación de fluorescencia de la clorofila versus el porcentaje de daño visual de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.	55
Figura 17: Correlación de la fluorescencia de la clorofila versus el rendimiento en kg de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.	56
Figura 18: Contenido de clorofila en veinticuatro genotipos de papa sin tratamiento de calor.	57
Figura 19: Porcentaje relativo de contenido de clorofila en dieciséis genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas.	58
Figura 20: Correlación del contenido de clorofila versus el porcentaje de daño visual de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.	59

Figura 21: Correlación del contenido de clorofila versus el rendimiento en kg de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.60

I. Introducción

A. Descripción

En la actualidad las papas que son cultivadas en todo el mundo se conocen conjuntamente bajo el nombre científico de *Solanum tuberosum* (Rodríguez L. , 2010). Además, este cultivo cuenta con parientes silvestres que se distribuyen ampliamente por el continente americano, crecen desde la zona suroccidente de los Estados Unidos de Norte América hasta la zona sur de Chile (Rodríguez, Wu, Ané, Tanksley, & Spooner, 2009). En adición, la principal característica de la papa es la formación y la presencia de tubérculos verdaderos al final del rizoma, se encuentran dos subespecies las cuales son: *Solanum tuberosum tuberosum* y *Solanum tuberosum andigena* (Rodríguez L. , 2009). Por otro lado, Román y Hurtado (2002) mencionan que el centro de origen para la subespecie *andigenum* se encuentra cerca del lago Titicaca entre Perú y Bolivia, mientras que para la subespecie *tuberosum* su centro de origen se encuentra relacionado a Chile. A pesar de que el centro de origen sea específico para cada subespecie, actualmente la papa que se produce en Europa es originaria de Chile, proveniente de la subespecie *tuberosum* mientras que la papa cultivada en Los Andes corresponde principalmente a la subespecie *andigenum* (Huamán & Spooner, 2002).

Solanum tuberosum es descrita como una planta herbácea, por su parte aérea es considera una planta anual (Valadez, 1989). Se conforman de tallos aéreos, semierectos o rastreros y de tallos subterráneos formados por rizomas y tubérculos. (Montaldo, 1984). La flor se conforma por estambres y pistilos, por lo que se considera una flor bisexual-hermafrodita. Los frutos denominados bayas que presentan una coloración verde a verde oscuro y contienen semillas botánicas, usadas para fines de mejoramiento genético, a diferencia de los tubérculos que son utilizados como semilla para la propagación asexual (Tapia & Fries, 2007).

B. Importancia de la papa a nivel mundial

A pesar de la diversidad de climas y suelos alrededor de todo el mundo, la papa es ampliamente cultivada y considerada como uno de los principales productos de explotación agrícola. Se ubica en el cuarto lugar de la actividad agrícola mundial, posesionado como uno de los principales cultivos después del maíz, trigo y arroz. (Agroware, 2016). El uso de los tubérculos tiene una amplia gama de subproductos, no solamente para consumo alimenticio en los hogares, a nivel mundial menos del 50 por ciento de las papas cultivadas son de consumo fresco; el resto es utilizado como alimento de animales, almidón para el sector industrial, productos procesados a base de papa y tubérculo semilla para nuevas siembras de acuerdo al CIP (2015).

En el 2017, la producción mundial de este tubérculo se estimó cerca a los 392 millones de toneladas, incrementando en un 1.8% más que en el 2016, este crecimiento de la producción mundial se vio atribuido principalmente por el avance de China (Fedepapa, 2017). En la actualidad, 156 países en el mundo cultivan papas en una superficie mayor a las 19 millones de hectáreas. China ocupa el primer lugar en producción mundial de papa con un alcance de 88 millones de toneladas al año (CIP, 2017). En adición, China abarca un 17% de la producción mundial seguida por Rusia 12.3 %, Polonia 9.1%, Estados Unidos de Norteamérica 7.1% e India con el 6.4% (UCSM, 2018). Por otra parte, en el 2016 la distribución de la producción de papas por continentes se encuentra conformada de la siguiente manera: Asia 50.6% (190,516,292 ton), Europa 31.2% (117,555,648 ton), América 11.3% (42,592,735 ton), África 6.5% (24,501,902 ton) y Oceanía 0.4% (1,660,390 ton), dando un total en la producción mundial, para el año 2016 un valor de 376,826,967 toneladas (FAO, 2018).

La papa posee características especiales entre los principales alimentos, puede producir hasta 4 veces más que el arroz o trigo en términos de producción y además presenta

propiedades nutritivas interesantes. De la planta se puede aprovechar un 85% de manera comestible, mientras que en los cereales este valor máximo llega a un 50% (Devaux, y otros, 2011). Con respecto al aporte nutricional de la papa, su aporte calórico es alto, libre de grasas y colesterol, presenta altos contenidos de potasio y vitamina C, por lo que tiene una capacidad de combatir deficiencias nutricionales (FAO, 2008). Además, al ser una fuente rica en almidón, resulta en una buena fuente de energía, siendo una fuente de carbohidratos con menor cantidad en calorías de las grasas, se acompaña de otros aportes nutricionales como carotenoides, fenoles y flavonoides (Muñoz, 2014). Por otra parte, de acuerdo al CIP (2017) más del 50% de la producción mundial de papa toma lugar en los países en vías de desarrollo. Su producción supero drásticamente a cualquier otro cultivo en dichos países, de esta manera la producción de papa contribuye a la seguridad alimentaria de millones de personas en Asia, África y Sudamérica.

C. Importancia de la papa en el Ecuador

En Ecuador, el cultivo de papa abarca una superficie alrededor de 50,000 hectáreas, las cuales producen alrededor de 300,000 toneladas. Se estima que cada persona en el Ecuador consume alrededor de 30 kg de papa al año (MAGAP, 2018). Es uno de los principales cultivos de la serranía Ecuatoriana, involucrando a más de 82,000 agricultores y su producción está enfocada principalmente para el consumo interno, estimando que el 81% de la producción en el país se comercializa para consumo fresco y el restante se direcciona a las industrias para las diferentes líneas de procesamiento (INIAP, 2014). De acuerdo al SIPA, en el 2017, el 46% de los productores pequeños de papa declararon que la producción de este cultivo fue su principal fuente de ingreso y el 61% mantiene la producción del cultivo como tradición familiar por 3 generaciones. Por otro lado, la caracterización de la producción de papa fue un 44% de 0.45 a 1 ha, 28% de 0.04 a 0.40 ha, 23% de 1.50 a 5 ha y 5% más de 5 ha. Adicionalmente, de la superficie total de papa sembradas en el país, el 75.6% se encuentra

en pequeños productores con extensiones de 1 a 5 ha, el 11.9% en productores con 5 a 10 ha, el 10.7% en productores con 10 a 50 ha y el 1.8% restante con productores con extensiones de más de 50 ha (Devaux, Ordinola, Hibon, & Flores, 2010).

La producción de papa se ubica en el norte, centro y sur de la serranía ecuatoriana, la época de siembra en la mayoría de productores se ubica entre noviembre y enero, determinado por el periodo lluvioso. Las principales provincias productoras en el año 2016 fueron: Carchi con el 36% (152,742.06 ton) de la producción nacional, con el rendimiento más alto de 21.09 t/ha, seguido por Chimborazo con el 27% (113,588.37 ton) de la producción con un rendimiento de 15.25 t/ha, luego Cotopaxi con el 11.10% (46,929.10 ton) con un rendimiento de 12 t/ha, Pichincha con el 9.98% (42,203.19 ton) con un rendimiento de 14.21 t/ha, y el 16% restante se divide en las demás provincias productoras (67,126.71 ton) con un rendimiento de 8.32 t/ha (MAG, 2016). De igual manera en el informe presentado por el MAG (2016) se menciona un aumento del 6% con respecto al año 2015, a pesar de una caída de 0.23% en la superficie cosechada. Por otra parte, el costo de producción por hectárea de papa para un productor semitecnificado bordea los \$5,000.00 siendo los rubros de controles siembra, cosecha, controles fitosanitarios y cosecha los más fuertes, ya que dependen de la contratación de jornales.

La papa en el Ecuador se cultiva desde los 2,700 a 3,400 msnm, debido a esto la producción se ha adaptado a diferentes pisos climáticos de la zona interandina permitiendo que los productores produzcan en distintas condiciones (Devaux, Ordinola, Hibon, & Flores, 2010). INIAP reporta más de 550 variedades nativas con diferentes formas y colores, y más de 20 variedades mejoradas, las cuales han sido objeto de selección por sus características agronómicas y por su importancia comercial (Mastrocola, y otros, 2016).

D. Diversidad Genética

La papa perteneciente al género *Solanum*, el cual es uno de los géneros más extensos y complejos dentro de la familia Solanaceae, contiene más de 2000 especies que se extienden por todo el mundo (Chávez, 2008). En adición, dentro de toda esta diversidad genética del género *Solanum*, en las papas cultivadas y silvestres existen una gran variedad de ploidía, el número básico de cromosomas es doce ($x=12$), se conforman por Diploides ($2n=2x=24$), Triploides ($2n=3x=36$), Tetraploides ($2n=4x=48$), Pentaploides ($2n=5x=60$) y Hexaploides ($2n=6x=72$) (Orrillo & Bonierbale, 2009). Además, las papas cuentan con recursos genéticos que se componen por especies autóctonas, híbridos, plantas silvestres, variedades locales y variedades silvestres (Gabriel, Magne, García, & Coca, 2009).

E. Factores Bióticos

En el cultivo de papa existen varias plagas que afectan al desarrollo normal del cultivo y esto resulta en daños al cultivo y pérdidas económicas a los pequeños, medianos y grandes productores agrícolas. Las plagas que tienen una mayor incidencia en el cultivo son las siguientes: escarabajo de la papa (*Leptinotarsa decemlineata*), gusano blanco de la papa (*Premnotrypes vorax*), mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*), nematodos del quiste (*Globodera pallida* y *Globodera rostochiensis*), polilla de la papa (*Ohthorimae operculella*), pulgilla (*Epitrix spp*) y Trips (*Frankliniella spp.*) (Pérez & Forbes, 2011). Con respecto a las enfermedades que afectan al cultivo, existe una amplia gama de organismos nocivos que van desde bacterias, hongos, hasta virus. Las principales y más comunes son: Alternaria (*Alternaria spp*), Carbón (*Angiosorus solani*), Oidio (*Oidium sp*), Pudrición Negra por Rosellinia (*Rosellinia. Necatrix, R. bunodes*), Rizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*), Roña (*Spongospora subterranea*), Sarna Común (*Streptomyces scabies, S. acidiscabies*), Tizón Tardío o Lancha (*Phytophthora infestans*) y) (Torres, 2002).

F. Factores Abióticos

Existen variantes dentro de las condiciones necesarias para cultivar papa, dependiendo de las variedades a ser utilizadas, pero en general la papa es una planta que tiene una amplia capacidad de adaptación y con buenos rendimientos si las condiciones ideales de suelo y de ambiente (FAO, 2008). Por otro lado, de acuerdo a Pino (2009) “la sensibilidad de una planta a temperaturas extremas y a sequía depende de la especie, de su estado de desarrollo y estado fenológico”. Se consideran a tres factores abióticos los cuales influyen drásticamente al cultivo de papa, estos factores son: fotoperiodo, sequías y temperatura (Rodríguez L. , 2010).

1. Fotoperiodo

El fotoperiodo hace referencia a la longitud del día, *Solanum tuberosum* se produce en condiciones de fotoperiodo largo, esto quiere decir más de 14 horas de luz, por otra parte, la subespecie *andigena* es de fotoperiodo corto (UACH, 2018). Por otro lado, Román y Hurtado (2002) mencionan que el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) presenta un excelente comportamiento cuando existen periodos de luz de 8 a 12 horas, y que la luminosidad durante el día se relaciona directamente en la función de los cloroplastos y desata una cadena de reacciones en las que participan el agua y el dióxido de carbono, los cuales ayudan a la creación de los diferentes azúcares que forman parte de los tubérculos. Moreno y Oropeza (2017) mencionan que el fotoperiodo es crucial en el proceso de tuberización. Se reportan que condiciones de fotoperiodo corto inducen a la tuberización en la papa (Seabrook, 2005).

Además, el inicio y el desarrollo de la tuberización son procesos cruciales para la producción del tubérculo del cultivo (Morales, y otros, 2011). La tuberización se impulsa gracias a condiciones de fotoperiodo corto y de temperatura fresca (18°C), esto es debido a que se acciona una señal transmisible en la zona sub apical del estolón el cual inicia la división celular, la expansión celular, dando como resultado la formación del tubérculo

(Hannapel, Chen, Rosin, Banerjee, & Davies, 2004). A pesar de que el fotoperiodo se encuentre dentro de los valores necesarios para el cultivo, si se presenta condiciones de sequía, el rendimiento del cultivo va a ser menor.

2. Sequía

En los últimos tiempos a causa de los efectos del cambio climático los periodos de lluvia se han acortado y la presencia de sequias es más frecuente en periodos claves del desarrollo de los cultivos (Jensen, 2010; Coppock & Valdivia, 2001). Una gran parte de los agricultores en la zona inter andina depende del agua que es provista en la época de invierno, limitando la capacidad productiva en las épocas de verano ya que al no contar con un sistema de riego adecuado su producción se ve reducida (Ekanayake, 1994). En adición, se conoce que el cultivo de papa presenta susceptibilidad a la falta de agua y se han logrado identificar diferencias genotípicas en su resistencia a la sequía (Torneux, Devaux, Camacho, Mamani, & Ledent, 2003).

En la planta de papa caracteres fisiológicos como: contenido de agua y potencial hídrico del tejido foliar, y la apertura estomática; además de caracteres de interés agronómico como: cobertura vegetal, contenido de materia seca, índice de área foliar, rendimiento y senescencia foliar, son afectados por la sequía y podrían ser usados como indicadores de los efectos del estrés hídrico en la producción de papa (Torneux, Devaux, Camacho, Mamani, & Ledent, 2003). De acuerdo a Ekanayake (1994) existen 3 indicadores de sequía en la producción de papa: 1) reducción del follaje productivo, 2) reducción del periodo vegetativo y 3) reducción de la tasa de fotosíntesis por unidad de área foliar. De esta manera, la disminución en el crecimiento de las plantas bajo presencia de sequía se relaciona directamente a la limitación en procesos de elongación, división y diferenciación celular, esto se debe a la caída del potencial hídrico que se presenta bajo condiciones de estrés hídrico y a los cambios en las proporciones hormonales de la planta (Bhaskara, Wen, Nguyen, &

Verslues, 2016). La temperatura como los otros factores mencionados anteriormente también tiene un papel fundamental en el desarrollo de los cultivos.

3. Temperatura

La temperatura es uno de los principales factores que afecta la distribución y productividad de las plantas de papa (Sage & Kubien, 2007). De igual manera, la temperatura determina la adaptabilidad de las especies en las diferentes zonas, afectando los siguientes procesos: actividad enzimática, actividad de la membrana y pared celular, además de causar cambios en el estado del agua y velocidad de las reacciones químicas (Fernandez & Johnston, 2006)., si la temperatura empieza a disminuir, el crecimiento de las plantas empieza a reducir ya que afecta varios de los procesos fisiológicos, los cuales en conjunto determinan el crecimiento de las mismas (Amagua, 2013). Si la temperatura aumenta, la velocidad de crecimiento vegetal también lo hace hasta llegar a un punto óptimo, si se sobrepasa este valor en la temperatura, de 30°C en el aire, el crecimiento del cultivo se ve afectado y su crecimiento se ve perjudicado (Fernandez & Johnston, 2006; Rubio, y otros, 2000).

En el cultivo de papa, la temperatura ideal se considera en un clima frío-templado, el rango térmico que favorece mayormente al cultivo se encuentra entre 13°C a 18°C (Zuñiga, Morales, & Estrada, 2018). Para procesos como la dormancia, floración, formación de tubérculos y germinación, la presencia de bajas temperaturas resultan esencial para llevar a cabo dichos procesos (Fernandez & Johnston, 2006). Los requerimientos óptimos para el cultivo de acuerdo a su etapa de desarrollo son los siguientes: dos semanas después de la siembra 13°C, emergencia y crecimiento foliar 21°C a 24°C, desarrollo foliar 12°C a 14°C, elongación del tallo y floración 18°C y formación de tubérculos 16°C a 22°C (Rubio, y otros, 2000).

G. Altas Temperaturas

El estrés causado por calor se encuentra definido por una serie de daños definitivos en el desarrollo y en el metabolismo de las plantas y resultan ser un fenómeno complejo que implica la duración del estrés, la tasa de aumento de temperatura y la temperatura máxima lograda (Porch & Hall, 2013). A pesar de que cada especie mantiene una temperatura máxima, mínima y óptima para su desarrollo normal, cada cultivo presenta una gran plasticidad estructural y fisiológica específica que les permite adaptarse a diferentes rangos de temperatura. Chaves y Gutiérrez (2017) mencionan que las plantas que mantienen exposición a temperaturas muy elevadas (mayor a 50°C) presentan colapso a nivel celular y daño severo en periodos de tiempo cortos. Además, la exposición al calor produce una cascada de activación y señalización genética, que puede finalizar con 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 (Almeselmani, Desmukh, Sairam, Kushwaka, & Singh, 2006; Iba, 2002). 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 (Wahid, 2007). Los efectos de las altas temperaturas en las plantas afectan de diferente manera dependiendo si el estrés fue por temperaturas elevadas durante el día o la noche. Estos efectos se relacionan con una baja tasa de desarrollo y productividad de los cultivos, (Wahid, Gelani, Ahsraf, & Fooland, 2007).

Con respecto a la papa, el estrés causado por calor afecta directamente a su producción, cuando la temperatura del suelo supera los 18°C y la temperatura del ambiente es alta, superior a los 30°C, el rendimiento de los tubérculos baja drásticamente (Monneveux, y otros, 2014; Rubio, y otros, 2000). Uno de los principales problemas dados por las altas

temperaturas en los tubérculos de papas es la necrosis por calor interno (NCI), la cual es un trastorno fisiológico que produce pardeamiento interno del tubérculo resultando en pérdidas económicas para los productores y disminución de la calidad del tubérculo (Stevenson, Loria, Franc, & Weintgartner, 2001). Las principales causas de la necrosis por calor interno en los tubérculos son: 1) la alta temperatura en el suelo, 2) la humedad inapropiada del suelo y 3) la nutrición inadecuada de la planta, o a su vez la unión de estos factores (Zotareli, y otros, 2013). La NCI se define como el trastorno fisiológico causado por las altas temperaturas durante las etapas finales del crecimiento y desarrollo del tubérculo (Stevenson, Loria, Franc, & Weintgartner, 2001). Además, los tubérculos que se encuentran más cercanos a la superficie tienen más contacto con la alta temperatura del medio ambiente por lo que pueden ser más susceptibles a este daño antes de la cosecha (Hardy, 1996; Stevenson, Loria, Franc, & Weintgartner, 2001). Si durante el estrés de calor el follaje se encuentre creciendo y verde, el agua y los nutrientes del tubérculo empiezan a traslocarse hacia el tejido foliar. Este movimiento masivo de agua y nutrientes crea un estrés en el sistema interno vascular del tubérculo, deteriorando y necrosando el anillo vascular interno, produciendo una conversión oxidativa de fenoles orgánicos a quinonas en el tejido del tubérculo, los cuales se observan como el pardeamiento tejido del tubérculo (Zotareli, y otros, 2013).

H. El Cambio Climático en la Producción de Papa

Con todo lo mencionado anteriormente, la principal amenaza que se presenta actualmente es el gran cambio que experimenta la agricultura a causa del efecto del cambio climático. El incremento de las emisiones de gas causa un alza en la temperatura del planeta, sus consecuencias más visibles son el cambio de regímenes hídricos y las frecuencias de los mismos, el derretimiento de glaciares, la frecuencia de eventos meteorológicos extremos y la modificación estacional del clima (Nelson, y otros, 2009). A pesar de que algunos cultivos puedan beneficiarse en ciertas zonas, lo que se espera es que se den escenarios que afecten la

producción agrícola y por lo tanto comprometan la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2018). De acuerdo al Banco Mundial (2008), en el 2005 alrededor del 50% de la población económicamente activa en los países en vías de desarrollo dependían de la agricultura para subsistir. En el 2009 el 75% de las personas de escasos recursos alrededor del mundo viven en zonas rurales, en base a esto se observa que este sector de la sociedad se encuentra vulnerable en temas de seguridad alimentaria por causa del efecto del cambio climático. A pesar de todas las adversidades que presenta el cambio climático para la agricultura, la FAO en conjunto con otros profesionales han establecido las siguientes recomendaciones para mitigar el efecto causado por el cambio climático en la agricultura (Nelson, y otros, 2009).

- Diseñar e implementar políticas y programas de desarrollo de buena calidad.
- Aumentar las inversiones en la productividad agrícola.
- Vigorizar los programas nacionales de investigación y extensión productiva.
- Mejorar la recopilación, difusión y análisis de datos globales.
- Hacer que la adaptación agrícola sea un punto clave de la agenda dentro del proceso de negociación internacional sobre el clima.
- Reconocer que las mejoras a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático van unidas.
- Apoyar las estrategias comunitarias de adaptación.
- Aumentar la financiación para programas de adaptación en US 7 mil millones al año como mínimo.

En el 2007 un informe presentado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio climático, asegura que para el 2100 la temperatura habrá aumentado entre 1.8 a 4°C dependiendo de las regiones, y esto compromete al medio ambiente y a la humanidad, ya que se menciona que el umbral crítico de aumento de la temperatura para cultivos agrícolas es de 2°C. A partir de esto, la producción de papa se encuentra comprometida frente a las grandes

fluctuaciones de temperatura presentadas por efectos del cambio climático. Las condiciones del clima y las proyecciones que lo acompañan señalan cambios drásticos y de suma importancia en lo que se refiere a precipitación y temperatura en ciertas zonas del mundo, debido a esto la frontera agrícola aumentara hacia zonas que no han sido explotadas agrícolamente y de igual manera las zonas previamente definidas y utilizadas para papa serán reducidas (Quiroz, Posada, & Yarleque, 2016). Los rendimientos proyectados en varios países, especialmente, en las regiones tropicales y subtropicales, llegará a una disminución del 20 al 30% (Stäubli, Wenger, & Wymman, 2008). Por otra parte, se estima que en los próximos 50 años debido al cambio climático, la producción de papa disminuirá entre el 18 al 32%, asumiendo que las variedades a ser utilizadas no tengan genes de tolerancia a estos factores abióticos, pero con el uso de variedades mejoradas se espera que la baja del rendimiento no sobrepase el 9% (Cuesta, Andrade, Bastidas, & Sherwood, 2002). Debido a esto, es necesario actuar de manera inmediata para disminuir el efecto que conlleva el cambio climático sobre el cultivo de papa, ya que existen pocos modelos que simulan y proveen información acerca del comportamiento del cultivo de papa frente al cambio climático (Stäubli, Wenger, & Wymman, 2008).

II. Justificación

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivo con mayor importancia dentro de los productos de explotación agrícola, se coloca en el cuarto cultivo de actividad agrícola, además el consumo de papa no se destina únicamente al consumo fresco para la alimentación humana, sino también como alimento animal, almidón utilizado en la industria alimenticia, y subproductos procesados (Agroware, 2016; CIP, 2015). En el Ecuador, el cultivo de papa involucra a más de 82,000 agricultores, cubriendo una superficie de 50,000 hectáreas con una producción de 300,000 toneladas, las cuales se destinan un 81% al consumo fresco y el restante se utiliza para líneas de procesamiento (INIAP, 2014; MAGAP, 2018). En el país la producción de papa se ubica entre los 2,700 a 3,400 metros sobre el nivel del mar, gracias a su amplia adaptación en los pisos climáticos, los productores pueden optar por variedades nativas y variedades mejoradas, las cuales en función de sus características agronómicas pueden ser producidas en distintas zonas (Devaux, Ordinola, Hibon, & Flores, 2010; Mastrocola, y otros, 2016).

Por otra parte, la susceptibilidad de una planta depende de las temperaturas extremas, sequía y su etapa fenológica (Pino, 2009). Las proyecciones del clima señalan cambios alarmantes sobre la precipitación y temperaturas en varias regiones del mundo, en las regiones tropicales y subtropicales se espera una caída entre el 20 a 30% en la producción de papa, esto debido a las altas temperaturas (Quiroz, Posada, & Yarleque, 2016; Stäubli, Wenger, & Wymman, 2008). La presencia de altas temperaturas son una amenaza latente para la papa, ya que las plantas que se encuentran expuestas a más de 50°C presentan daño a nivel celular en poco tiempo, como resultado de las altas temperaturas se producen cambios anatómicos, funcionales y morfológicos en el cultivo, los cuales se observan como un desarrollo anormal de la planta acompañado de baja productividad del cultivo (Chaves & Gutiérrez, 2017; Wahid, 2007; Wahid, Gelani, Ahsraf, & Fooland, 2007). El estrés por calor

afecta directamente a la producción bajando drásticamente la calidad y el rendimiento del cultivo antes de la cosecha. Causa también necrosis por calor interno del tubérculo, haciéndolo poco apetecible para el consumo y la industria, dando como resultado una pérdida bastante significativa para los productores (Monneveux, y otros, 2014; Stevenson, Loria, Franc, & Weintgartner, 2001).

Debido a esto, una de las soluciones más viables es encontrar genotipos que presenten tolerancia a este fenómeno del cambio climático, a pesar de que existan genotipos que se adapten de manera óptima a distintas condiciones ambientales, no existen genotipos que se adapten a todas las condiciones ambientales que se encuentran en el callejón interandino (Ponce, 2013). Con estos antecedentes mencionados, es necesario recopilar información sobre genotipos de interés, requiriendo de programas de mejoramiento genético ya que estos se encargan de desarrollar y descubrir variedades tolerantes o susceptibles a los diferentes factores abióticos que se presentan por el cambio climático (Quiroz, Posada, & Yarleque, 2016). Por otra parte, la información existente sobre la tolerancia a altas temperaturas en genotipos de papa en el Ecuador no ha sido estudiada ampliamente, por lo que se tiene la necesidad de conocer el comportamiento de estos genotipos cuando son expuestos a las altas temperaturas bajo condiciones controladas. En función de esto, radica la importancia de encontrar genotipos resistentes o tolerantes al estrés por calor, como una necesidad primordial para la comunidad científica, a los productores del Ecuador y del mundo. Se conoce que los distintos genotipos de papa tienen ciertos niveles de tolerancia, por lo que es de suma importancia conocer y definir los genotipos que mejor se comporten a las altas temperaturas, los cuales presentarían una respuesta positiva frente a los efectos extremos del cambio climático.

A partir de lo mencionado anteriormente, con este trabajo se busca aportar con información a la comunidad científica sobre la tolerancia del cultivo de papa a las altas

temperaturas, y por consiguiente a los agricultores y productores con información sobre los genotipos que presentan potencial para mitigar la pérdida por efecto de las altas temperaturas. Este proyecto experimental forma parte de una investigación dirigida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) en el proyecto “Marker-assisted selection for potato germoplasm adapted to biotic and abiotic stresses caused by global climate change”. Debido a esto, es necesario la evaluación de cada genotipo a las altas temperaturas con la finalidad de seleccionar los que mejor que se comporten y demuestren características agronómicas de interés. Esta investigación evalúa la susceptibilidad o tolerancia a las altas temperaturas en condiciones controladas en veinticuatro genotipos de papa (*Solanum tuberosum*), analizando el daño visual foliar, fuga de electrolitos y el rendimiento, además se complementa con parámetros fisiológicos como la conductancia estomática, el contenido de clorofila y la fluorescencia del fotosistema II.

III. Objetivo General

- Evaluar el rendimiento y las respuestas fisiológicas causado por el estrés inducido de calor en veinticuatro genotipos de papa (*Solanum tuberosum*).

IV. Objetivos Específicos

- Obtener el material vegetal de los 24 genotipos de papa para los ensayos correspondientes a la evaluación del daño por calor.
- Someter al estrés de calor al material vegetal y evaluar el nivel de daño resultante del estrés de calor mediante una escala visual y fuga de electrolitos.
- Determinar la respuesta fisiológica por el estrés de calor usando la metodología de conductancia estomática, fluorescencia de la clorofila y contenido de clorofila.
- Evaluar el rendimiento de los genotipos expuestos al estrés de calor.

V. Hipótesis

Las altas temperaturas bajo condiciones controladas causarían diferente nivel de daño a los diferentes genotipos de papa (*Solanum tuberosum*).

VI. Metodología

A. Material Vegetal

El material vegetal utilizado fue entregado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Los tubérculos fueron propagados previamente en la parroquia de Pastocalle, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Una vez realizada la cosecha, se llevó a la parroquia El Chaupi, Canton Mejía, Provincia Pichincha, locación donde se almacenaron los tubérculos por dos meses previos a la siembra. Se realizó una clasificación de la semilla obtenida, dando las siguientes tres categorías: Grande (mayor a 80

gr), Mediana (entre 50 y 80 gr) y Pequeña (menor a 50 gr). Se seleccionaron 22 tubérculos, los cuales fueron seleccionados de la categoría mediana y posteriormente utilizados como semilla. Los 24 genotipos sometidos al tratamiento de calor, se conforman por las siguientes variedades comerciales: Estela, Josefina, Libertad, Natividad, Puca Shungo, Suepr Chola, Victoria y Yana Shungo; y las siguientes líneas promisorias obtenidas de programas de mejoramiento de INIAP: 07-32-15, 07-40-1, 07-46-8, 12-4-45, 12-4-72, 12-4-145, 12-6-29, 380496,2, 399002, 52, 399062-115, 399079,27, 399090,15, 97-25-3, 98-2-6 y 98-38-12.

B. Localización del Ensayo

El ensayo fue llevado a cabo en la Hacienda “El Prado”, ubicada en la parroquia del Chaupi, Cantón Mejía, Provincia Pichincha, ubicado a 45 minutos de la ciudad de Quito. Esta hacienda se encuentra a 3,200 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura alrededor de los 14°C que se mantiene a lo largo del año, y con presencia de clima frío y con presencia de lluvia que va de noviembre a mayo en la época de invierno. Las coordenadas geográficas son: -0.591031 (latitud) y -76.630639 (longitud). La ubicación del proyecto es vital para tener facilidad de acceso y optimizar los recursos destinados al proyecto.

C. Sustrato para la Siembra

Para la siembra del material vegetal en macetas se utilizó tierra negra de textura franco-arenoso extraída de la hacienda “El Prado”. Para la propagación en macetas se esterilizo la tierra en tanques de 100 litros, se puso 3 partes de tierra y 1 parte de agua, mediante cocción por 8 horas se obtuvo suelo totalmente estéril, libre de plagas, enfermedades y malas hierbas. La siembra se realizó en fundas de 6 litros previamente llenadas con tierra esterilizada y se ubicó un tubérculo por funda a una profundidad de 8 centímetros, con la posición de los brotes hacia arriba. Se sembraron 22 macetas por cada genotipo a ser experimentado, 12 para experimentación a altas temperaturas y 10 para control

en funda Además, el día que se sembraron los tubérculos en las fundas también se sembró en campo 10 tubérculos por genotipo.

D. Condiciones del cultivo (Riego, Nutrición y Fumigación)

El riego se dio pasando dos días, 3 veces por semana, con la finalidad de mantener las macetas con una buena humedad para su desarrollo apropiado y aplicando directamente al sustrato para evitar problemas por enfermedades. El riego fue suspendido un día antes de la experimentación a altas temperaturas con el objetivo de reducir el efecto de la evapotranspiración del suelo, de igual manera para reducir el efecto que produce la humedad en la tolerancia al calor. Una vez terminado el ensayo las plantas fueron trasplantadas a campo y el riego dependió de la precipitación de la zona.

La nutrición del cultivo se realizó dos veces con fertilizantes completos (N-P-K), la primera en las macetas y la segunda en el trasplante a campo; y se complementó con aplicaciones de fertilizantes foliares.

Para las fumigaciones, se realizó aplicaciones de agroquímicos en función del clima y de la incidencia de los blancos biológicos. Las fumigaciones se dieron cada 8-10 días en época lluviosa y cada 15 días en época seca.

E. Condiciones del Ensayo

1. Etapa Fenológica

Las plantas fueron sometidas al estrés de calor alrededor de los 60 días de edad, dependiendo de cuando hayan empezado la floración. Se seleccionó esta etapa fenológica para la experimentación ya que se buscó evaluar como la parte foliar de la planta se comporta frente a las altas temperaturas además de que en la etapa de floración los estreses abióticos causan las mayores pérdidas en producción

2. Exposición al calor

El desarrollo de esta experimentación tuvo como referencia ensayos en los cuales se hicieron pruebas en diferentes tiempos a diferentes temperaturas. En temperaturas alrededor de los 40°C se causa inhibición completa del Fotosistema II, por otra parte, el tiempo al que se exponen las plantas van de 40 a 48 horas, lo cual permite obtener una buena guía sobre el tiempo y la temperatura a ser expuesta (Havaux, 1993; Ahn, Claussen, & Zimmerman, 2004; Hiremath, Woong, Sajeesh, Kappachery, & Won, 2013). A partir de esta información recopilada se realizaron pruebas piloto para definir el tiempo y la temperatura a ser expuesta, obteniendo que a 38°C por 48 horas las plantas presentan daños visuales por estrés al calor.

La exposición a las altas temperaturas se desarrolló de la siguiente manera:

- 12 plantas de cada genotipo fueron introducidas en el cuarto caliente sobre estanterías a las 18:00 pm.
- El cuarto caliente se prendió a las 18:30 pm y tomó alrededor de 4 horas para que la temperatura llegue a los 38°C.
- Para dar las condiciones más similares al medio ambiente, se prendió la luz del cuarto caliente a las 06:00 am y se apagó a las 18:00 pm, esto con la finalidad de mantener el fotoperiodo.
- Después de 48 horas el cuarto caliente se apagó, y la exposición al calor se detuvo.
- Se abrió la puerta del cuarto caliente y se esperó 30 minutos para que las plantas se aclimaten a temperatura ambiente
- Una vez que la exposición al estrés por calor terminó, se procedió a medir los parámetros de: fuga de electrolitos, conductancia estomática y fluorescencia de la clorofila.

- Las plantas fueron removidas del cuarto caliente y fueron ubicadas a la intemperie para verificar mediante la escala visual obtenida de Vega y Bamberg (1995), y para cuantificar el contenido de clorofila dos días después del tratamiento de calor
- Después de los tres días de recuperación se seleccionó 7 de 12 plantas para ser trasplantadas a campo y de esta manera determinar el rendimiento post estrés de calor. Por otro lado, las 5 plantas restantes fueron mantenidas para verificar su rendimiento sin ser trasplantadas.

F. Metodología de Evaluación

A. Daño Foliar mediante Escala de Daño Visual

Para realizar la evaluación de daño se realizaron las mediciones después de 48 horas que las plantas fueron expuestas al estrés por calor. Se utilizó la escala de Vega y Bamberg (1995) la cual permite clasificar y cuantificar el nivel de daño en las plantas afectadas. Esta escala se compone de 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 a las altas temperaturas.

B. Índice de Daño por fuga de Electrolitos en Condiciones de Calor

1. Obtención de Discos

Para la obtención de los discos de hoja se seleccionó el tercio superior de las plantas con el objetivo de estandarizar la madurez de las hojas utilizadas. Se seleccionaron cinco discos de hoja, los cuales fueron obtenidos con un sacabocado de tamaño #5, posterior a eso los discos se ubicaron en un tubo de ensayo con 10 ml de agua destilada. Los tubos de ensayo fueron preparados y rotulados previamente en el Laboratorio de Biotecnología Agrícola y Alimentos de la USFQ para evitar confusión. Al paso 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 apuntaron los valores. Se realizaron 8 repeticiones por cada genotipo, posteriormente las muestras fueron llevadas a 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

2. Calculo de Índice de Daño por Fuga de Electrolitos

Los discos obtenidos sin tratamiento de calor también presentan fuga de electrolitos, por lo que se precisó de una resta en los datos obtenidos de plantas similares sometidos al calor. La fórmula que fue utilizada para calcular el índice de daño por fuga de electrolitos se obtuvo de Flint (1966) y se detalla a continuación:

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

Ecuación 1 Índice de daño obtenido de (Flint, Index of Injury: A Useful Expression of Freezing Injury to Plant Tissues as Determined by the Electrolytic Method, 1966)

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.

C. Rendimiento obtenido

A la cosecha del cultivo, se obtuvo el rendimiento de los 24 genotipos que fueron sembrados de la siguiente manera en campo y en macetas:

- Control en campo, siembra directa.
- Control en fundas.
- Trasplante con estrés.

D. Conductancia Estomática

El porómetro se encarga de medir la conductancia estomática de las plantas. Esta técnica se mide la apertura de los estomas en términos de la conductancia del vapor de agua que sale de la hoja (Gimenez, Gallardo, & Thompson, 2013). La cantidad de agua transpirada no se determina únicamente por la cantidad de agua disponible en el suelo, sino también por factores abióticos.

Para realizar las mediciones de apertura estomática se utilizó el equipo “SC-1 Leaf Porometer” de la marca Decagon Services. Previo a su utilización el equipo debe calibrarse para realizar la medición de la conductancia estomática, la cámara que se encarga de la medición debe encontrarse cerrada hasta que la pantalla del equipo nos de la indicación de arrancar. Una vez calibrado el equipo, se ubica el sensor en una hoja completamente expandida que sea la más representativa del daño realizado por el estrés por calor y se toma la medición. Se realizan 4 repeticiones para cada uno de los 24 genotipos. Además, previamente al estrés de calor se cuantifico la conductancia estomática para determinar el estado basal de apertura estomática. .

E. Fluorescencia de la Clorofila

De acuerdo a Havaux (1993) a través de las funciones de las células, se considera que la actividad fotosintética de los cloroplastos es una de las más sensibles a las altas temperaturas. El parámetro que se utiliza en esta medición es FV/O. Para llevar a cabo esta

medición se utilizó el equipo “OPTI-SCIENCES OS30p+” y unas pinzas de adaptación a la oscuridad.

Para iniciar las mediciones se ubican estas pinzas oscuras en las hojas completamente expandida de cada uno de los 24 genotipos de papa y se espera 30 minutos para que la hoja se encuentre en un estado de oscuridad. A continuación, el equipo debe ser calibrado, presionando ok sobre los parámetros de medición Fv/X y se espera tres segundos para que se calibre. Una vez calibrado, se ubica el equipo en las pinzas y se abre una tapa para introducir el lente encargado de realizar la medición. Se obtienen los valores FV/O y se anotan. La medición se repitió 4 veces por cada genotipo. De igual manera, se cuantifico la fluorescencia de la clorofila previo al estrés de calor.

F. Contenido de Clorofila

La clorofila es la pigmentación que da a las plantas esa característica verde y la cantidad de clorofila en el tejido vegetal es un indicador de la capacidad fotosintética de la planta (Palta, 1990). Las mediciones realizadas con el equipo “Konica Minolta SPAD-502 Plus” permiten tener un valor proporcional a la cantidad de clorofila presente en la hoja. Además, presenta facilidad en la toma de muestras ya que es un equipo no destructivo para la planta y la toma de datos resulta rápida, ya que cada medición toma alrededor de dos segundos.

Para utilizar el equipo se necesita una calibración, se enciende el equipo y se juntan las pinzas de medición, se espera 5 segundos y el equipo se encuentra calibrado. Una vez con el equipo calibrado se seleccionó la tercera hoja completamente expandida de arriba hacia abajo para realizar las mediciones ubicando las pinzas en los folíolos respectivos, se obtuvieron los valores y se anotaron. Las mediciones se realizaron 2 días después del estrés de calor con 12 repeticiones por cada genotipo. Además, se midió previo al estrés de calor.

G. Unidad Experimental

Se refiere al lugar físico en donde se ubicaron los tubérculos de papa, esto quiere decir el lugar en donde se someten a experimentación los tratamientos para posterior evaluación. La unidad experimental fueron macetas de 6 litros de capacidad las cuales estaban ubicadas en un espacio destinado para la experimentación del proyecto dentro de la Hacienda “El Prado”.

H. Aleatorización

Se seleccionaron aleatoriamente 12 y 10 tubérculos, libres de plagas o enfermedades, para ser ubicados en fundas como macetas de experimentación al estrés por calor y para siembra en fundas para control, respectivamente. Se utilizaron fundas plásticas de 6 litros que sirvieron como macetas para la siembra inicial.

Tabla 1: Distribución de la Siembra para posterior experimentación.

12-4-45	07-32-15	98-2-6
12-4-72	07-40-1	380496,2
12-4-145	07-46-8	399062-115
98-38-12	12-6-29	399090,15
399002,52	97-25-3	Estela
399079,27	3990075,26	Puca Shungo
Libertad	Josefina	Super Chola
Natividad	Victoria	Yana Shungo

Fuente: Material obtenido de la propagación realizada en Pasto Calle.

VII. Resultados

A. Daño Foliar mediante Escala de Daño Visual

1. Nivel de Daño Foliar

Mediante la escala propuesta por Vega y Bamberg (1995) se puede adecuar y clasificar el nivel de daño obtenido por las bajas temperaturas a las altas temperaturas. Las imágenes presentadas en la figura 1, presentan las variedades comerciales sin exposición al calor y con exposición al estrés de calor. En esta figura se puede observar el comportamiento de las plantas al estrés por calor, las plantas que se encuentran con mayor daño en su tejido vegetal son: Libertad, Victoria y Yana Shungo. Mientras que la que menor daño presenta es Natividad. Las fotografías fueron tomadas dos días después del tratamiento de calor.



Figura 1: Nivel de daño foliar a 38°C por 48 horas, usando la metodología de Escala Visual.

2. Porcentaje de Daño Visual

La Figura 2 presenta el porcentaje de daño visual en los veinticuatro genotipos sometidos al estrés por calor a 38°C por 48 horas. Se incluyen las barras del error experimental. Los genotipos que presentan un daño menor al 40% son los siguientes: Estela, Josefina, Natividad, 12-4-72, 12-6-29, 399062,115 y 399090,15. Por otro lado, los genotipos que abarcan un daño sobre el 70% son: Libertad, Victoria, 07-32-15, 07-40-1, 07-46-8, 97-25-3 y 98-2-6. Finalmente, los genotipos que se encuentran entre el 40 y 70% de daño son: Puca Shungo, Super Chola, Yana Shungo, 12-4-45, 12-4-145, 380496,2, 399002,52, 399075,26, 399079,27 y 98-38-12. Por último el genotipo que presenta un daño menor al 20% es el 12-6-29.

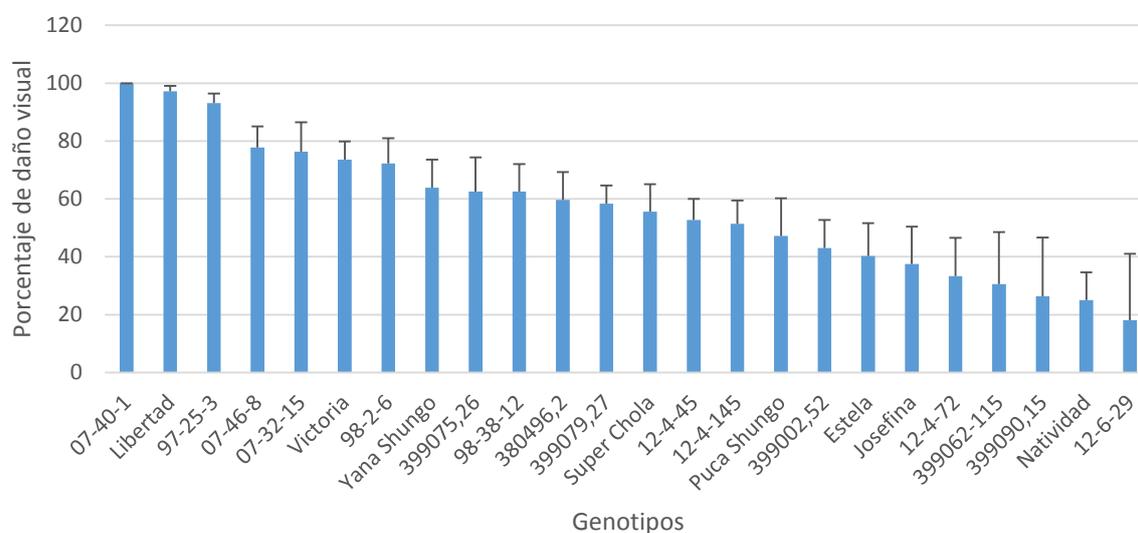


Figura 2: Índice de daño por el escala visual en veinticuatro genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas.

B. Rendimiento obtenido

1. Rendimiento sin Estrés vs. Con Estrés de Calor

En la figura 3 se presenta el rendimiento en kilogramos de los veinticuatro genotipos sin estrés frente al estrés por calor. Los genotipos expuestos al estrés por calor que presentaron rendimientos menores al control son: Puca Shungo, 07-40-1, 07-46-8, 380496,2, 399062-115, 399079,27, 97-25-3 y 98-2-6. Mientras que los genotipos sometidos al estrés por calor que presentaron una producción igual o mayor al control son: Estela, Josefina, Libertad, Yana Shungo, 07-32-15, 12-4-45, 12-4-72, 12-6-29, 399090,15 y 98-38-12. Por otro lado, los demás genotipos presentan rendimientos cercanos a los del control.

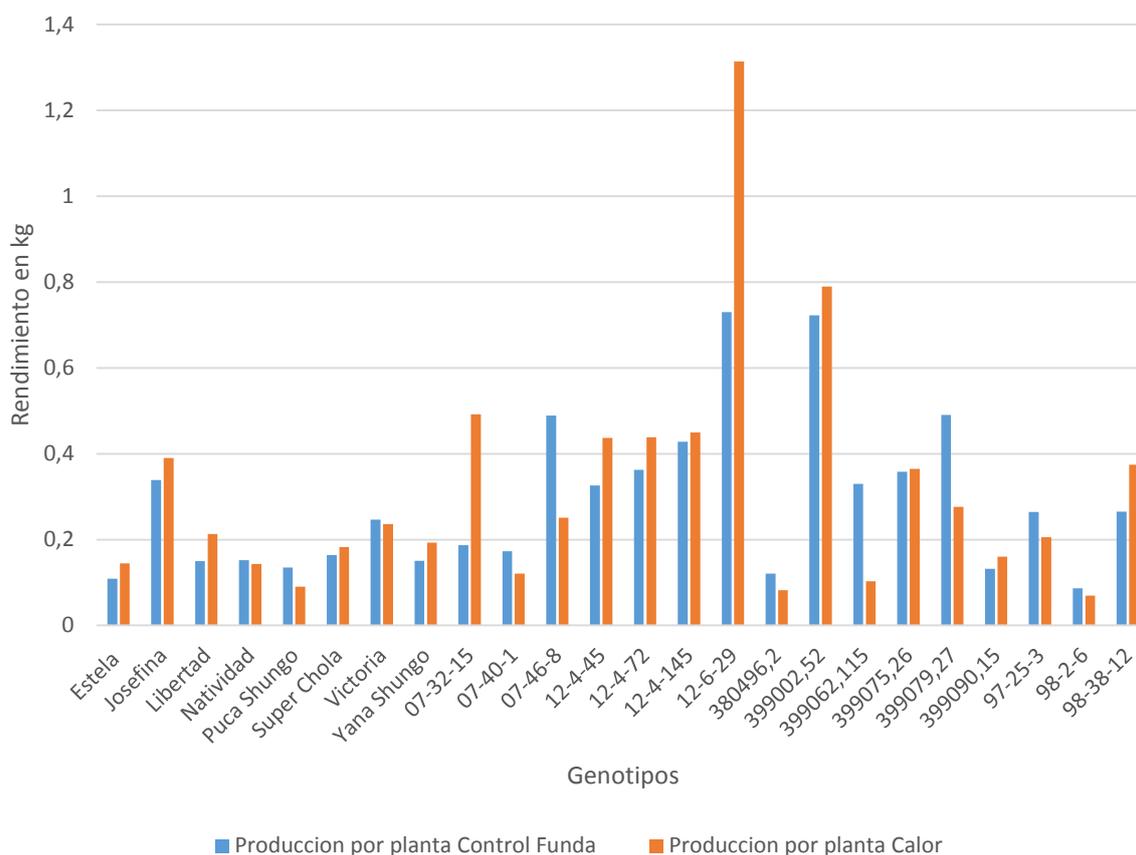


Figura 3: Rendimiento de los veinticuatro genotipos de papa en control funda versus tratamiento por calor en funda.

2.Rendimiento Relativo

En la figura 4 se observa el porcentaje relativo de rendimiento de las plantas en control en funda versus las plantas con tratamiento al estrés por calor en los veinticuatro genotipos de papa. Los genotipos que presentan un 120% más del rendimiento son: 07-32-15, 12-6-29, Libertad, 98-38-12, 12-4-45, Estela, Yana Shungo, 399090,15 y 12-4-72. Los genotipos que se encuentran entre 100 a 120% son: Josefina, Super Chola, 399002,52, 12-4-145 y 399075,26. Por otro lado, los genotipos que se encuentran en un rango de 80 a 100% son los siguientes: Victoria, Natividad y 98-2-6. Finalmente, los genotipos que se encuentran por debajo del 80% son: 97-25-3, 07-40-1, 380496,2, Puca Shungo, 399079,27, 07-46-8 y 399062-115. Para la obtención del porcentaje relativo de rendimiento se realizó una relación a 100% de la producción de las plantas de control, mientras que para las plantas sometidas al estrés por calor se realizó una relación porcentual en función de las plantas control.

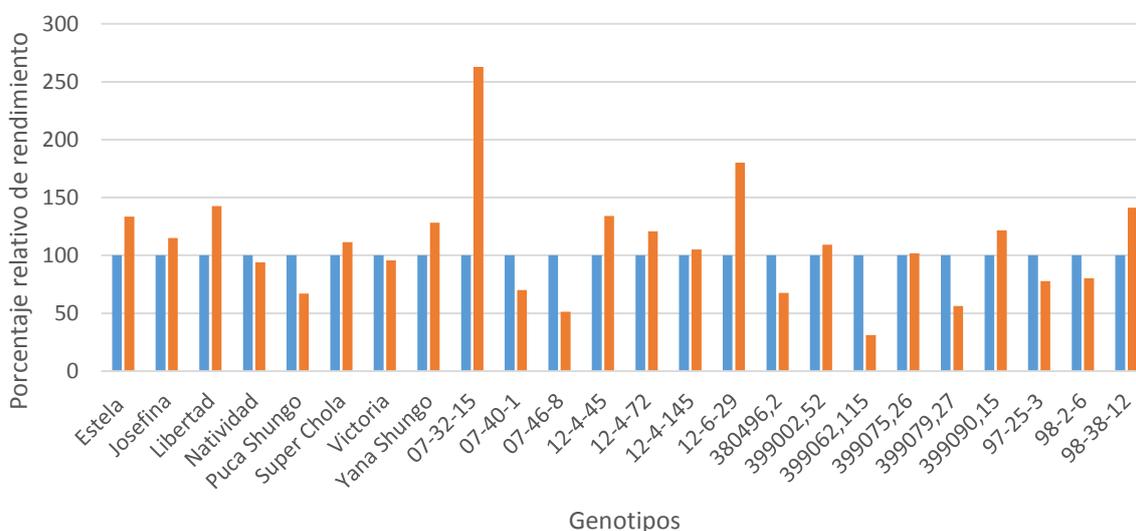


Figura 4: Porcentaje relativo de rendimiento de los veinticuatro genotipos de papa en control funda versus tratamiento por calor en funda.

C. Correlación

1. Rendimiento Sin Estrés versus Estrés por Calor

En la figura 5 se encuentra la correlación del rendimiento en kilogramos de las plantas sembradas en funda sin estrés versus las plantas sembradas en funda sometidas a 38°C por 48 horas. Además, se presenta un valor del 65.43% de correlación entre la producción en kilogramos de plantas sin calor versus las plantas sometidas a calor, existiendo significancia para esta correlación. Lo cual indica que las variedades que más producen en condición sin estrés también producen con estrés de calor.

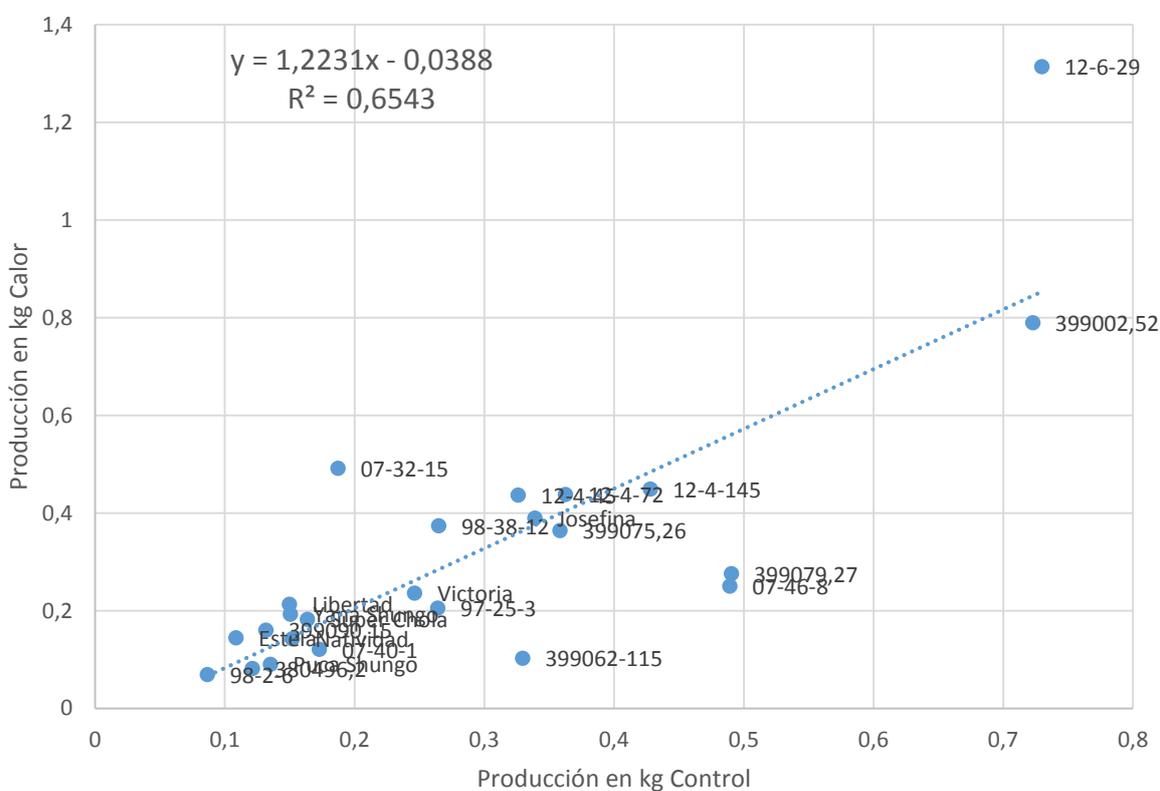


Figura 5: Correlación del rendimiento de los veinticuatro genotipos de papa sembrados en funda sin estrés versus estrés por calor.

2. Daño Foliar versus Rendimiento por Calor

En la figura 6 se encuentra la correlación del porcentaje de daño foliar versus el rendimiento en kilogramos de las plantas sembradas en funda sometidas a 38°C por 48 horas. Se presenta un valor del 12.42% de correlación, demostrando un nivel bajo de correlación entre el porcentaje de daño visual y la producción en kilogramos de las plantas sometidas a calor mencionado.

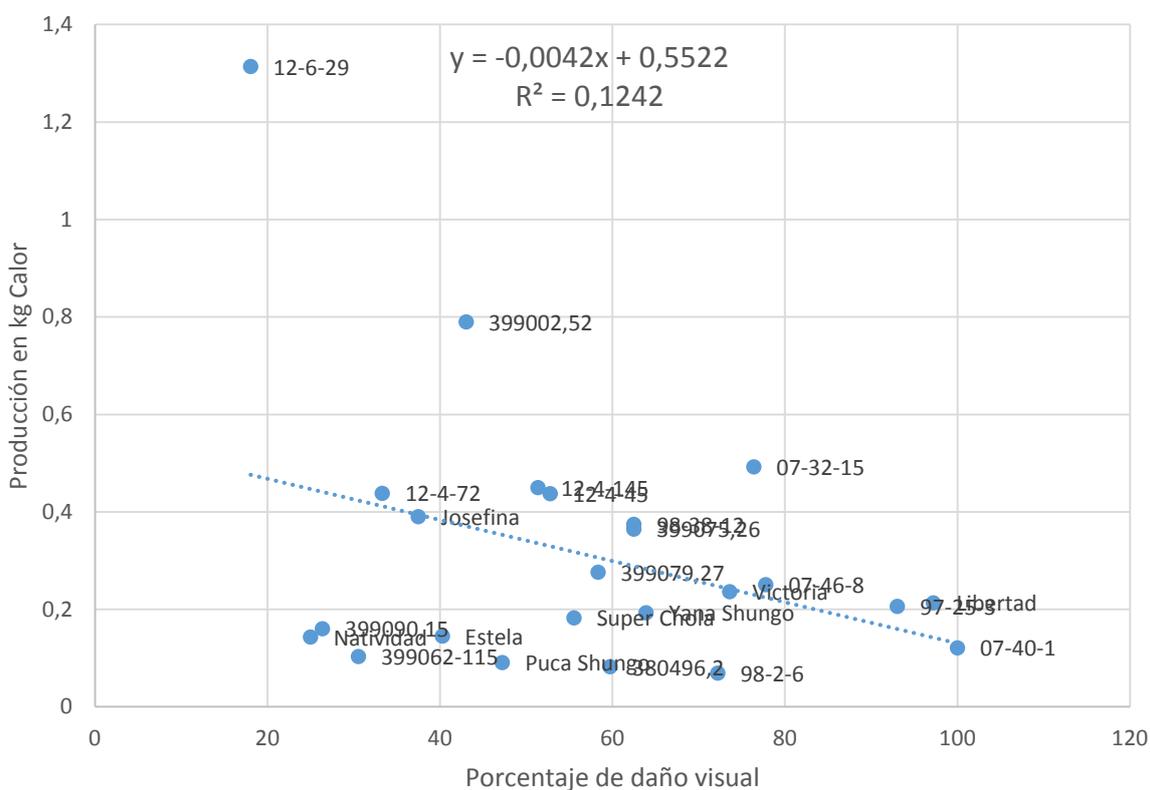


Figura 6: Correlación del porcentaje de daño visual versus el rendimiento en kg de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.

D. Índice de Daño por Fuga de Electrolitos

La figura 7 presenta el índice de daño por fuga de electrolitos en los veinticuatro genotipos de papa sometidos a 38°C por un periodo de 48 horas. Se incluyen las barras del error estadístico. Los siguientes genotipos presentan una mayor liberación de electrolitos después de haber sido sometidos a las altas temperaturas: Victoria, 07-32-15, 07-40-1, 07-46-8 y 97-25-3. Por otro lado, los genotipos: Estela, Josefina, Libertad, Natividad, Puca Shungo, Super Chola, Yana Shungo, 12-4-45, 12-4-72, 12-4-145, 380496,2, 399002,52, 399062-115 y 399090,15 presentan valores por debajo del 8%. Los genotipos: 12-6-29, 399075,26, 399079,27, 98-2-6 y 98-38-12 se encuentran con valores por debajo del 11%, mientras que el único genotipo que presenta un valor negativo es Puca Shungo.

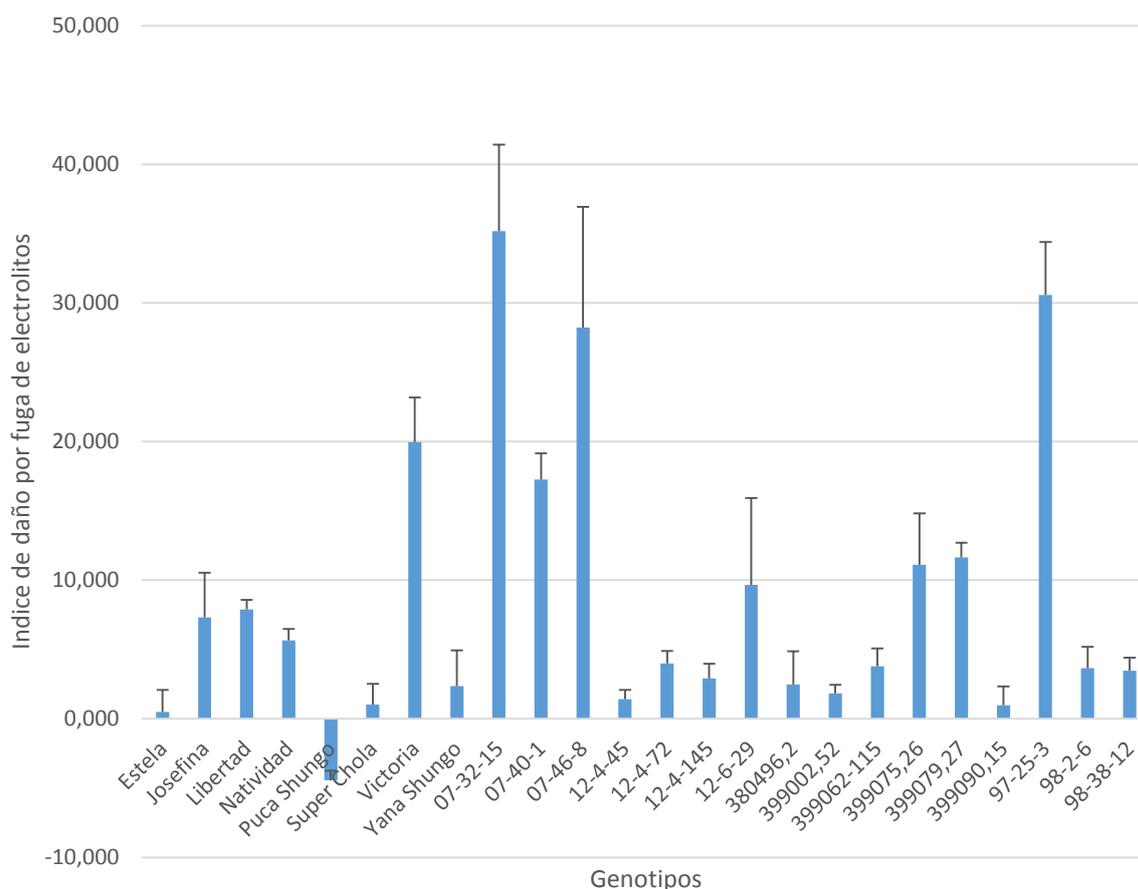


Figura 7: Índice de daño por fuga de electrolitos en veinticuatro genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas.

1. Correlación Fuga de Electrolitos versus Daño Visual

En la figura 8 se presentan los resultados de la correlación del daño por la fuga de electrolitos versus el porcentaje de daño visual en los veinticuatro genotipos de papa sembrados en fundas sometidas a 38°C por 48 horas. Se presenta un valor del 32.36% de correlación lo que nos explica que la fuga de electrolitos representa un 32% de la causa del daño del tejido foliar evaluado mediante la metodología de escala visual.

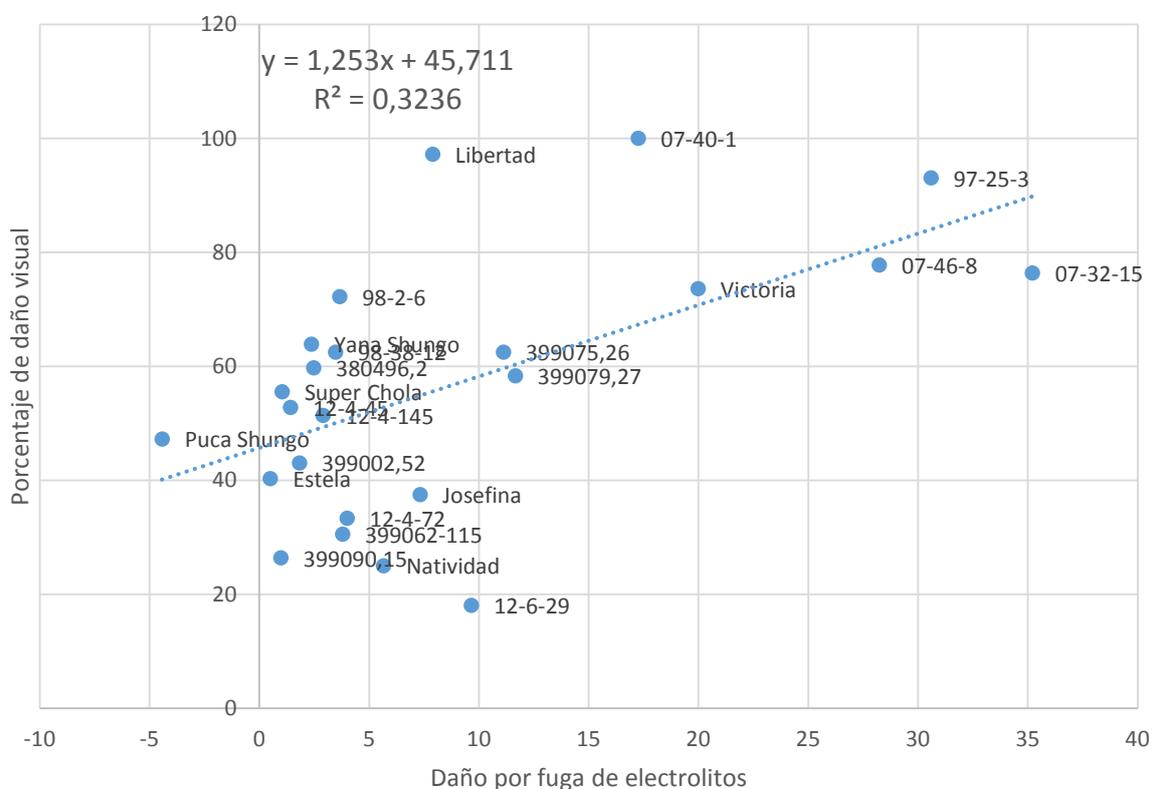


Figura 8: Correlación del daño por fuga de electrolitos versus el porcentaje de daño visual de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.

2. Correlación Fuga de Electrolitos versus Rendimiento por Calor

En la figura 9 se presentan los resultados de la correlación del daño por la fuga de electrolitos versus el rendimiento en kg de los veinticuatro genotipos de papa sembrados en fundas sometidos a 38°C por 48 horas. Se presenta un valor de la correlación del 0.064%. Se expresa un valor muy cercano a 0 de correlación, siendo así un parámetro nulo para estimar la productividad basada en el nivel de daño por fuga de electrolitos.

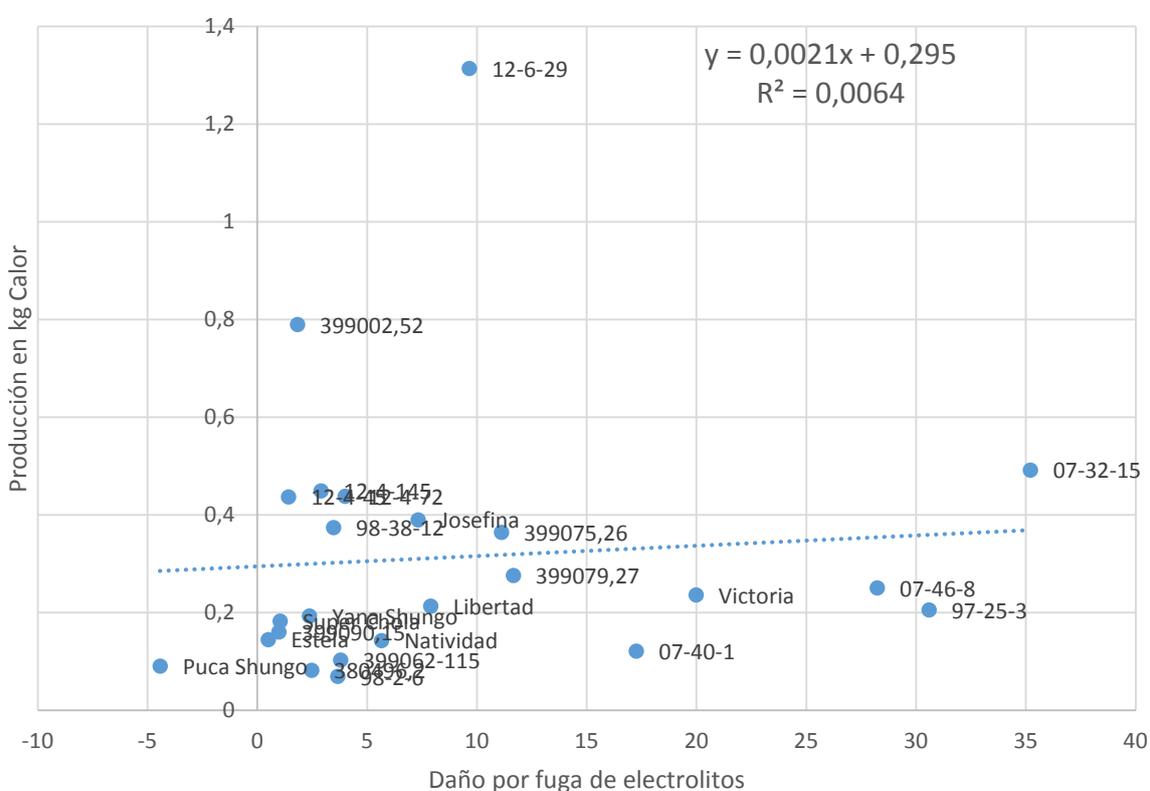


Figura 9: Correlación del daño por fuga de electrolitos versus el rendimiento en kg de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.

E. Conductancia Estomática

1. Conductancia Estomática sin Estrés

En la figura 10 se presentan los resultados de la conductancia estomática en los veinticuatro genotipos de papa sin tratamiento de estrés por calor, se encuentran expresados en $\text{mmol/m}^*\text{s}$. Se observa que los genotipos Josefina, Puca Shungo, Libertad, 07-32-15, 07-46-8, 12-4-72, 12-6-29, 39900,52, 399075,26 y 98-38-12 tienen una tasa de transpiración superior a los $800 \text{ mmol/m}^*\text{s}$. En contraste, se encuentran con una tasa de transpiración menor a los $600 \text{ mmol/m}^*\text{s}$ los siguientes genotipos: Super Chola, 12-4-145 y 399079,27. Mientras que los demás genotipos se encuentran entre los $600\text{-}800 \text{ mmol/m}^*\text{s}$, esto demuestra que cada genotipo se comporta de diferente manera frente al ambiente

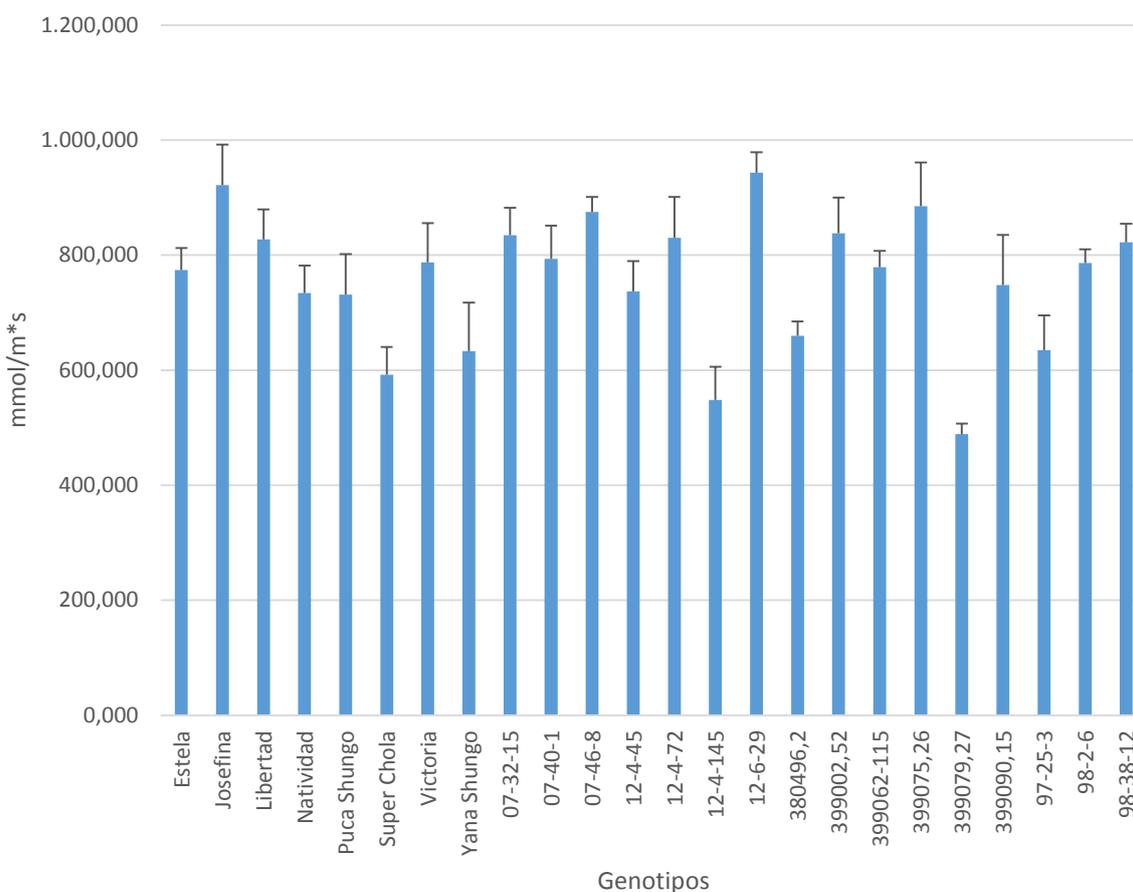


Figura 10: Conductancia estomática en veinticuatro genotipos de papa sin tratamiento de calor expresados en $\text{mmol/m}^*\text{s}$.

2.Apertura Estomática Relativa Después de Estrés por Calor

En la figura 11 se presentan los resultados del porcentaje relativo de apertura estomática en los veinticuatro genotipos de papa sometidos al estrés por calor a 38°C por 48 horas. Se observa una tendencia clara en todos los genotipos, la apertura estomática se encuentra por debajo del 60% frente a la conductancia estomática sin estrés o plantas control. Los genotipos que presentan una apertura estomática mayor al 30% son: Estela, Puca Shungo, Yana Shungo, 07-40-1, 380496,2 y 399062,115. Por otra parte, los genotipos que presentan una apertura estomática menor al 15% son: Victoria, 07-32-1), 07-46-8, 12-4-72, 399075,26 y 97-25-3. Mientras que los genotipos restantes mantienen una apertura estomática entre el 15 y 30%. Para lo obtención del porcentaje relativo de la apertura estomática se realizó una relación a 100% de la apertura estomática de las plantas de control, mientras que para las plantas sometidas al estrés por calor se realizó una relación porcentual en función de las plantas control.

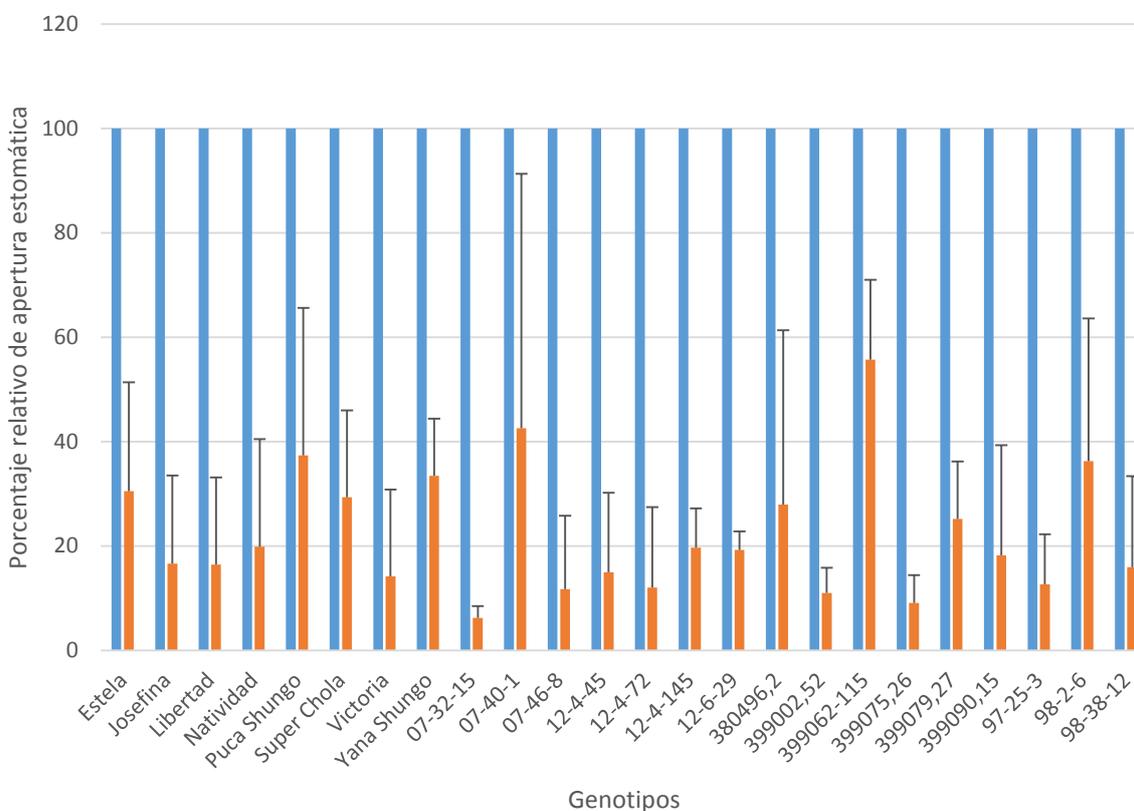


Figura 11: Porcentaje relativo de apertura estomática en veinticuatro genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas.

3. Correlación Conductancia Estomática versus Daño Visual

En la figura 12 se presentan los resultados de la conductancia estomática versus el porcentaje de daño visual en los veinticuatro genotipos de papa sembrados en fundas sometidas a 38°C por 48 horas. Se presenta un valor del 1.02% de correlación. Se expresa un valor bastante bajo de correlación, siendo así un parámetro de baja calidad.

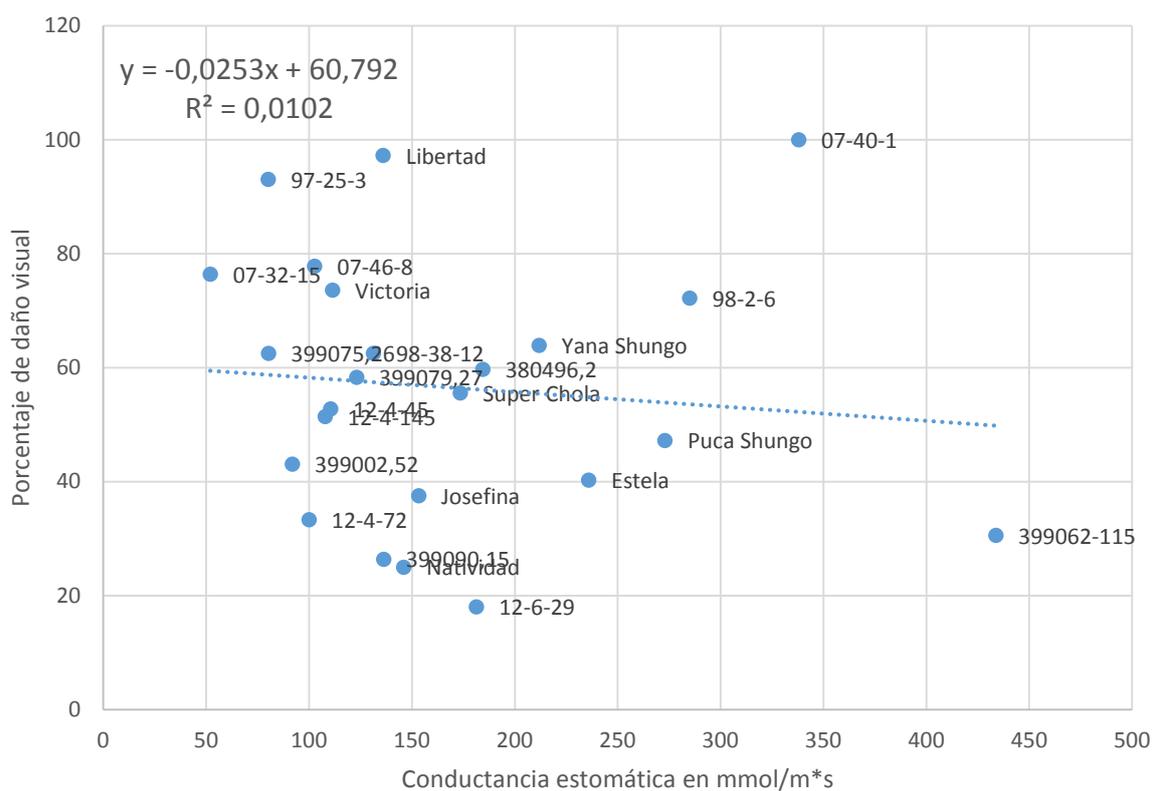


Figura 12: Correlación de la conductancia estomática versus el porcentaje de daño visual de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.

4. Correlación Conductancia Estomática versus Rendimiento después del tratamiento de Calor

En la figura 13 se presentan los resultados de la conductancia estomática versus el rendimiento en kg de los veinticuatro genotipos de papa sembrados en fundas sometidos a 38°C por 48 horas. Se presenta un valor del 12.94% de correlación. Se expresa un valor relativamente bajo de correlación aunque la tendencia es que las variedades que más producen son las que cerraron más los estomas.

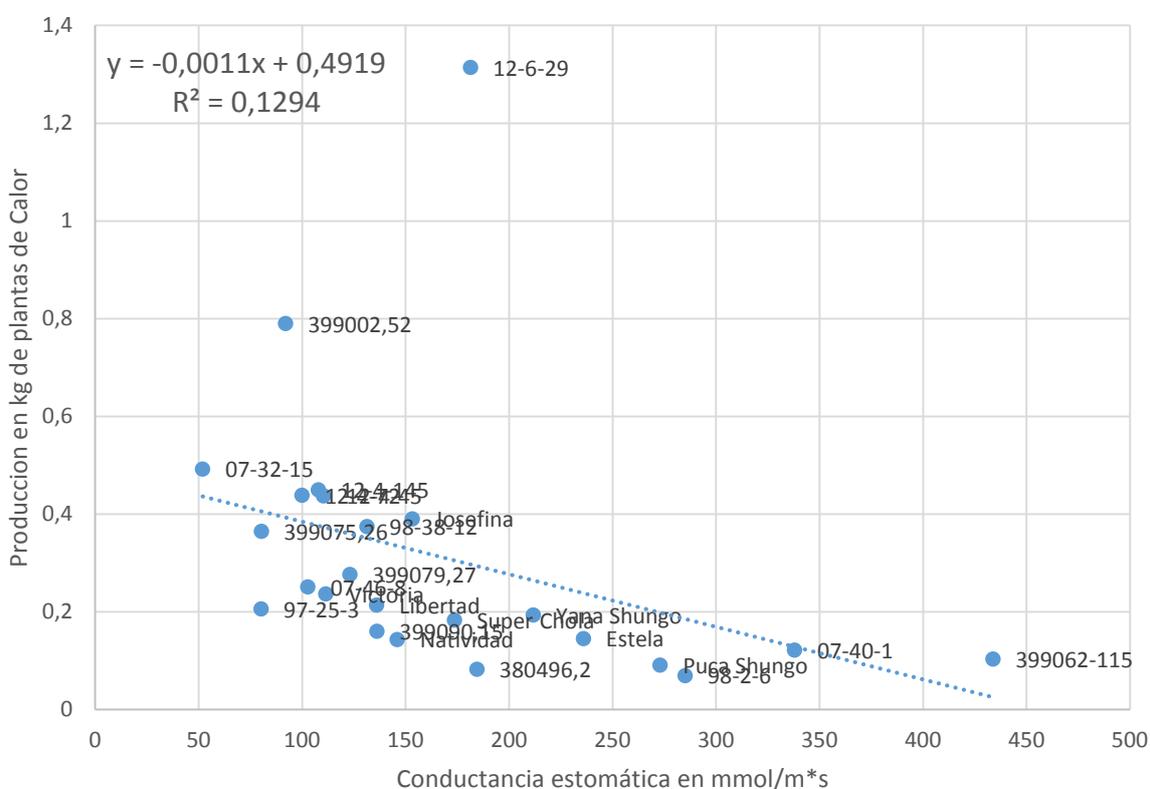


Figura 13: Correlación de la conductancia estomática versus el rendimiento en kg de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.

F. Fluorescencia de la Clorofila

1. Fluorescencia de la Clorofila sin Estrés

En la figura 14 se presentan los resultados de la fluorescencia de la clorofila en los veinticuatro genotipos de papa sin tratamiento de estrés por calor, se encuentran expresados en FV/O. Los genotipos que presentan una fluorescencia superior a 4 en el parámetro FV/O son: Josefina, 07-32-15, 12-4-45, 12-4-72 y 399079,27. Por otro lado, solamente existen dos genotipos que mantienen un valor menor a 3 en el parámetro FV/O, los cuales son: Yana Shungo y 97-25-3. Los demás genotipos se mantienen en valores de entre 3 y 4 en el parámetro FV/O.

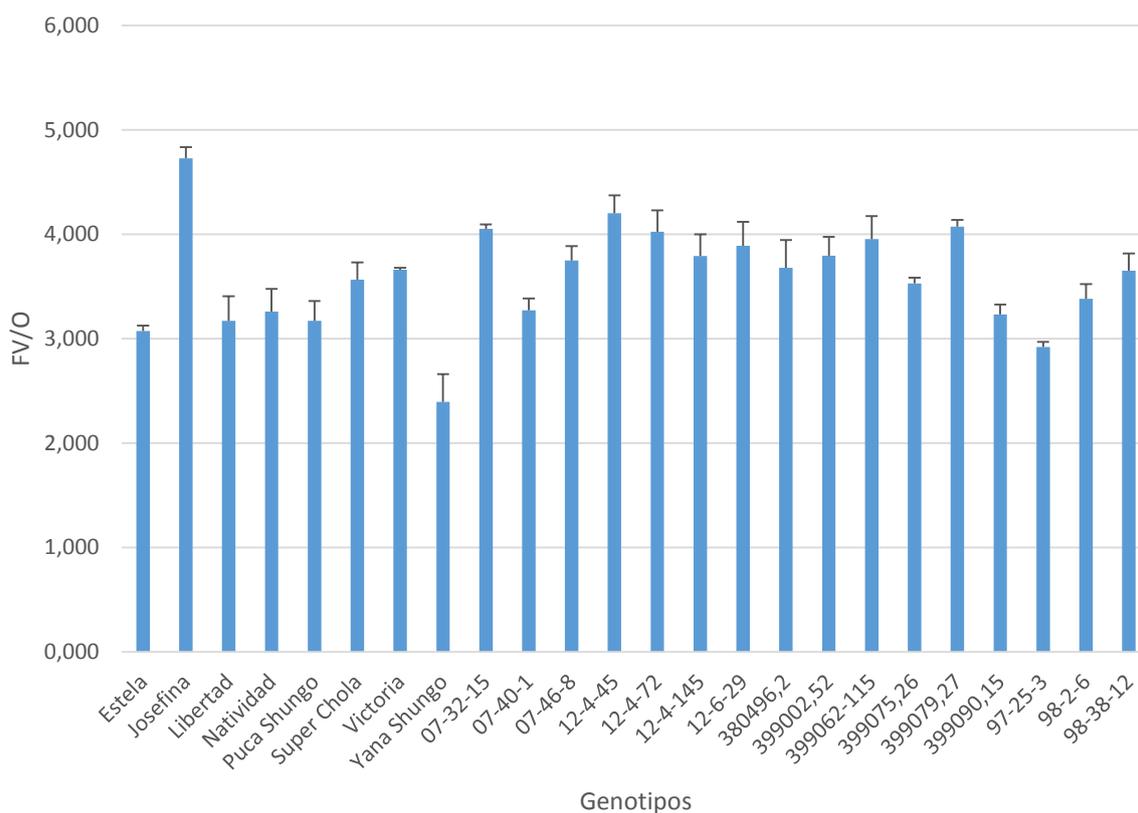


Figura 14: Fluorescencia en veinticuatro genotipos de papa sin tratamiento de calor expresados en FV/O.

2. Fluorescencia Relativa de la Clorofila Después de Estrés por Calor

En la figura 15 se presentan los resultados del porcentaje relativo de fluorescencia de la clorofila en los veinticuatro genotipos de papa sometidos al estrés por calor a 40°C por 48 horas. Los genotipos que presentan una fluorescencia mayor al 40% son los siguientes: 12-4-72, 12-4-145, 399002,52 y 399079,27. Mientras que los genotipos que presentan un porcentaje menor al 10% en la fluorescencia relativa son: Josefina, Puca Shungo, Victoria, Yana Shungo, 07-32-15, 07-40-1, 07-46-8, 12-6-29, 399075,26 y 97-25-3. Los genotipos restantes se encuentran entre el 10 y 40 % de la fluorescencia relativa. Para la obtención del porcentaje relativo de la fluorescencia se realizó una relación a 100% de la fluorescencia de la clorofila de las plantas de control, mientras que para las plantas sometidas al estrés por calor se realizó una relación porcentual en función de las plantas control.

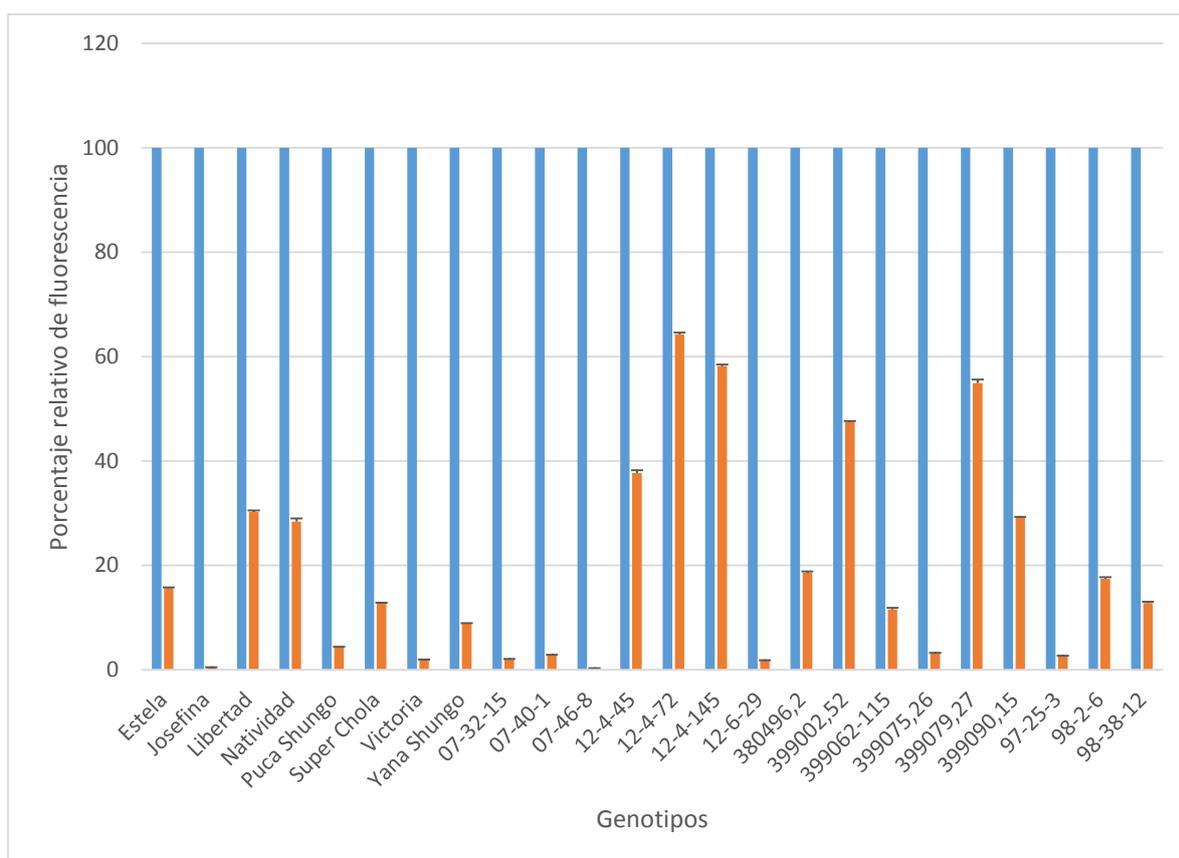


Figura 15: Porcentaje relativo de fluorescencia en veinticuatro genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas.

3. Correlación Fluorescencia de la clorofila versus Daño Visual despues del tratamiento de Calor

En la figura 16 se presentan los resultados de la fluorescencia de la clorofila versus el indice de daño visual de los veinticuatro genotipos de papa sembrados en fundas sometidos a 38°C por 48 horas Se presenta un valor del 7.85% de correlación, dando como resultado un parámetro de baja calidad para inferir en la respuesta de daño usando la fluorescencia.

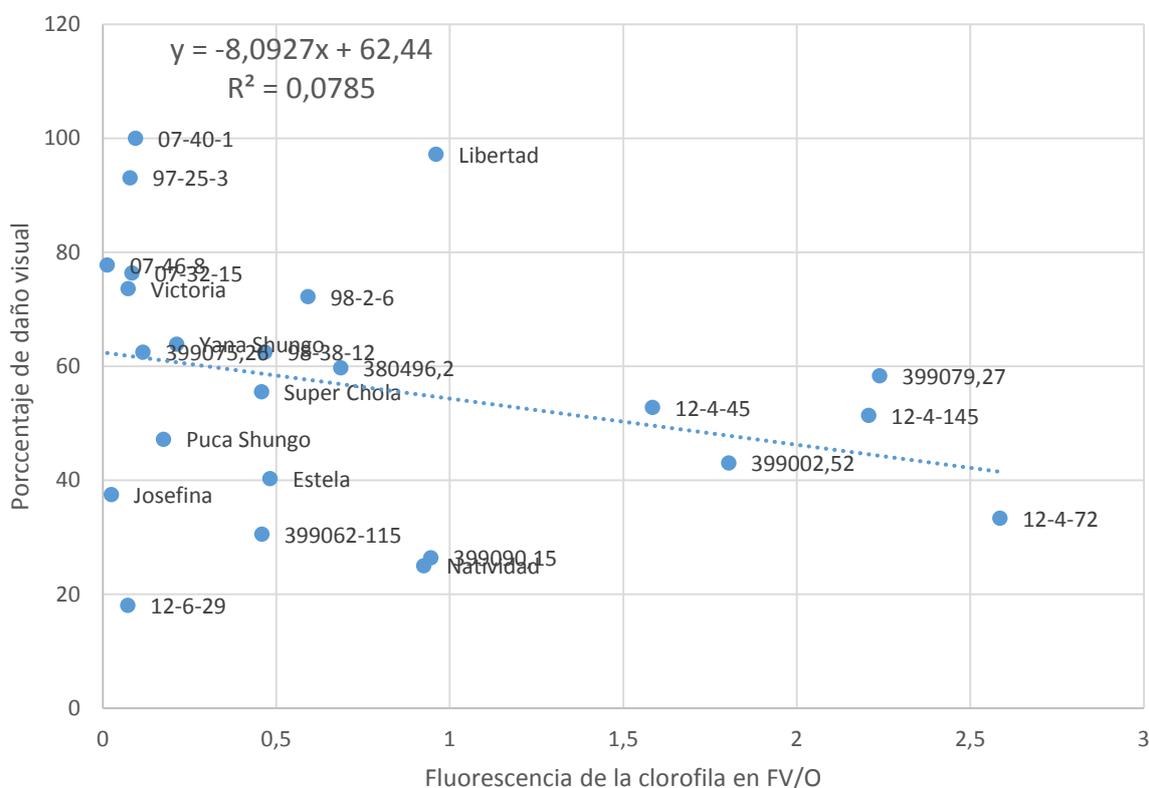


Figura 16: Correlación de fluorescencia de la clorofila versus el porcentaje de daño visual de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.

4. Correlación Fluorescencia de la clorofila versus Rendimiento después del tratamiento de Calor

En la figura 17 se presentan los resultados de la fluorescencia de la clorofila versus el rendimiento en kg de los veinticuatro genotipos de papa sembrados en fundas sometidos a 38°C por 48 horas. Se presenta un valor del 1.9% de correlación, siendo un valor de sumamente bajo para correlacionar estos dos parámetros.

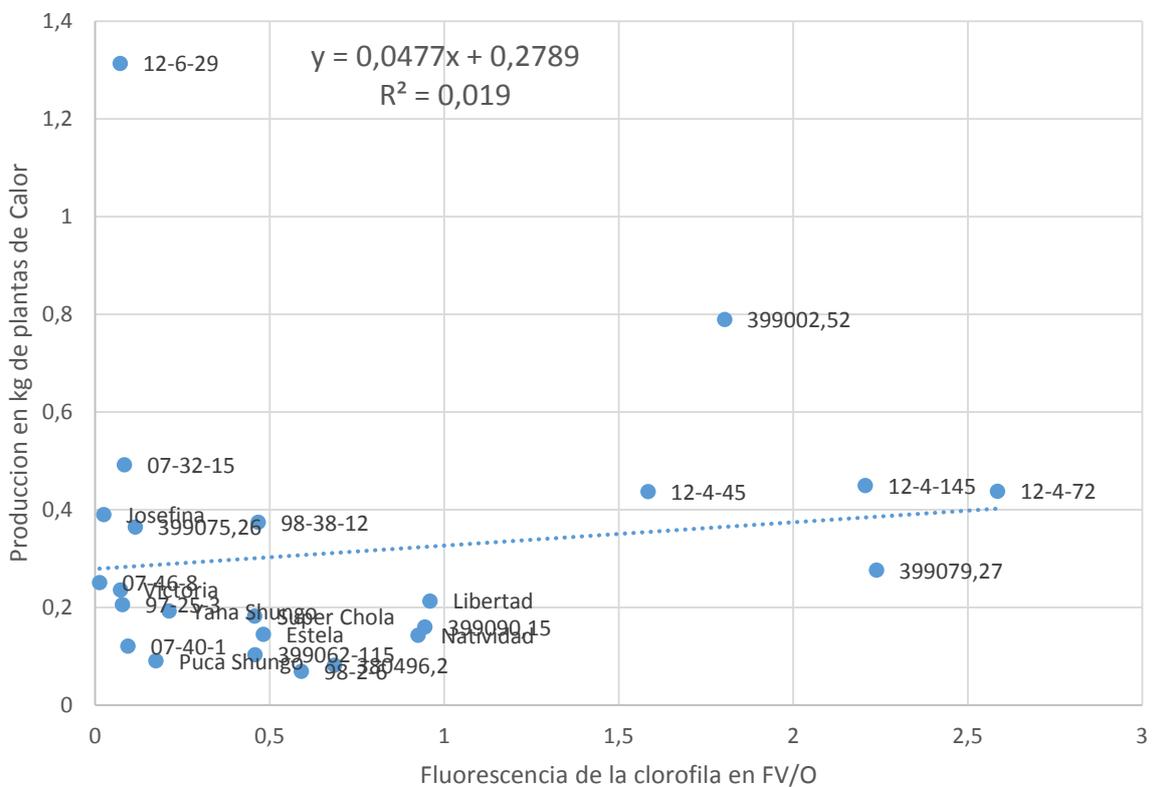


Figura 17: Correlación de la fluorescencia de la clorofila versus el rendimiento en kg de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.

G. Contenido de Clorofila

1. Contenido de Clorofila sin Estrés

En la figura 18 se presentan los resultados del contenido de clorofila en los veinticuatro genotipos de papa sin tratamiento de estrés por calor. Los genotipos que presentaron valores superiores a 45 unidades SPAD fueron: Victoria, 07-32-15 y 12-6-29. Por otro lado, el único genotipo que presenta un valor menor a las 35 unidades SPAD es Libertad. Con respecto a los demás genotipos, estos se encuentran en el rango 33 y 47 unidades de SPAD.

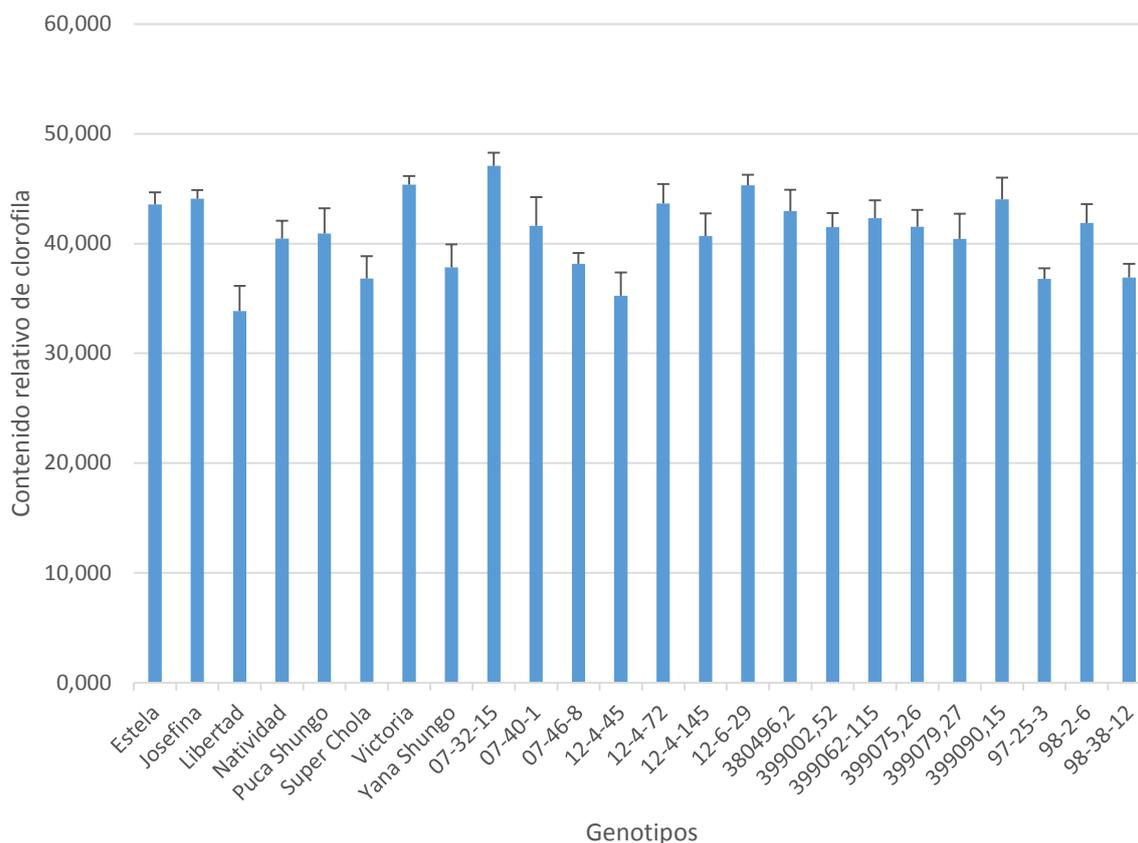


Figura 18: Contenido de clorofila en veinticuatro genotipos de papa sin tratamiento de calor.

2.Contenido Relativo de Clorofila Después de Estrés por Calor

En la figura 19 se presentan los resultados del porcentaje relativo de contenido de clorofila en dieciséis genotipos de papa sometidos al estrés por calor a 38°C por 48 horas, los ocho genotipos restantes que son: Josefina, Victoria, 07-32-15, 07-40-1, 07-46-8, 12-6-29, 399075,26 y 97-25-3 no pudieron ser medidos ya que, al tercer día de recuperación, las plantas se encontraron defoliadas y con el tejido foliar muerto. El único genotipo que reduce su contenido de clorofila hasta un 70 % es 399079,27, mientras que el único genotipo que supera el contenido de clorofila después de haber sido sometido al estrés por calor es 12-4-45. Para los demás genotipos, se mantiene una reducción hasta un 75% del contenido de clorofila frente al control.

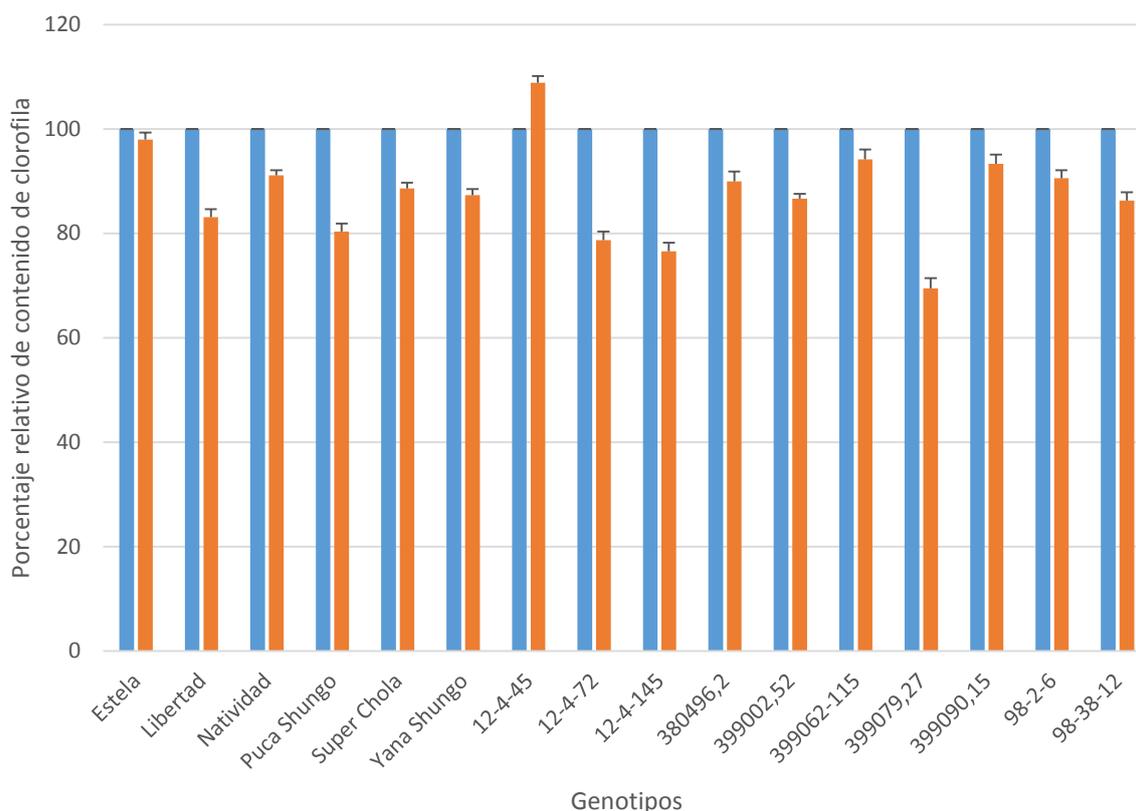


Figura 19: Porcentaje relativo de contenido de clorofila en dieciséis genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas.

3. Correlación del Contenido de Clorofila versus Daño Visual despues del tratamiento de Calor

En la figura 20 se presentan los resultados del contenido de clorofila versus el indice de daño visual de los veinticuatro genotipos de papa sembrados en fundas sometidos a 38°C por 48 horas. Se presenta un 33.28 % de correlación, pero se debe tener en cuenta que no se encuentran los ocho genotipos que se defoliaron después del tratamiento por calor.

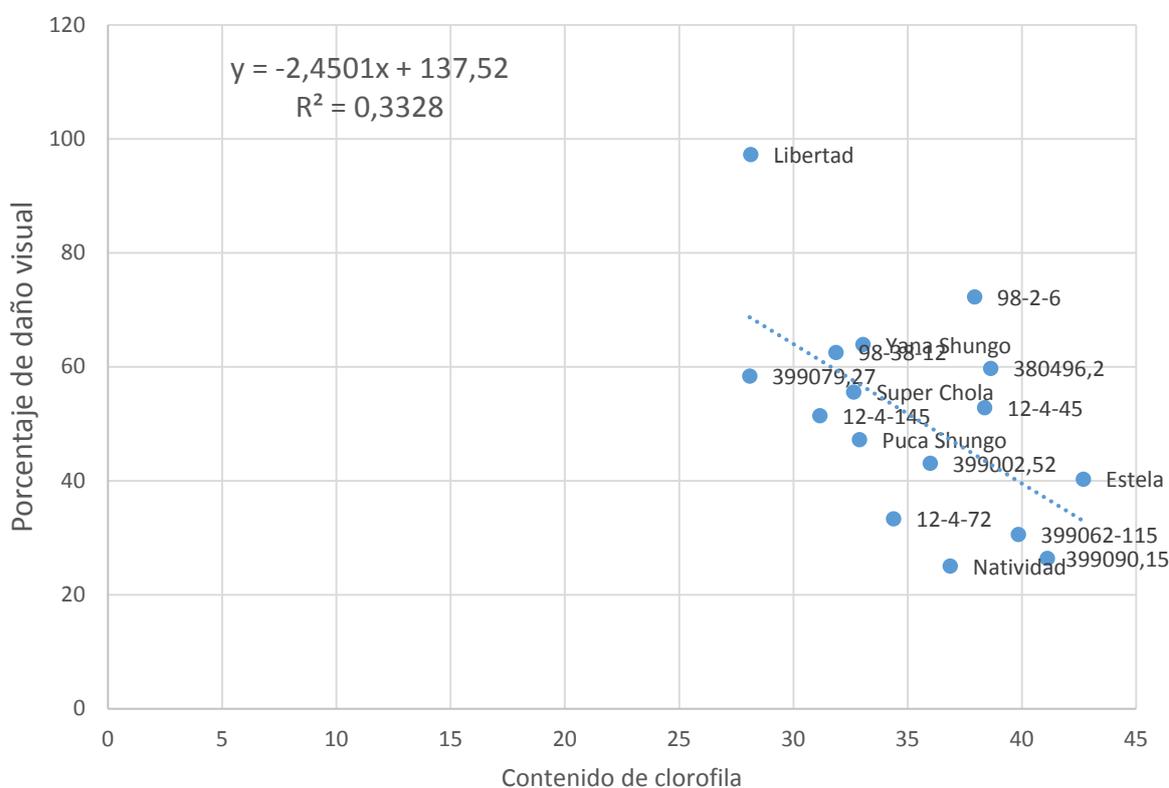


Figura 20: Correlación del contenido de clorofila versus el porcentaje de daño visual de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.

4. Correlación del Contenido de Clorofila versus Rendimiento despues del tratamiento de Calor

En la figura 21 se presentan los resultados del contenido de clorofila versus el rendimiento en kg de los veinticuatro genotipos de papa sembrados en fundas sometidos a 38°C por 48 horas. Se presenta una correlación del 5.03%, se debe tener en cuenta que no se presentan los valores de ocho genotipos, los cuales se defoliaron despues del estrés por calor.

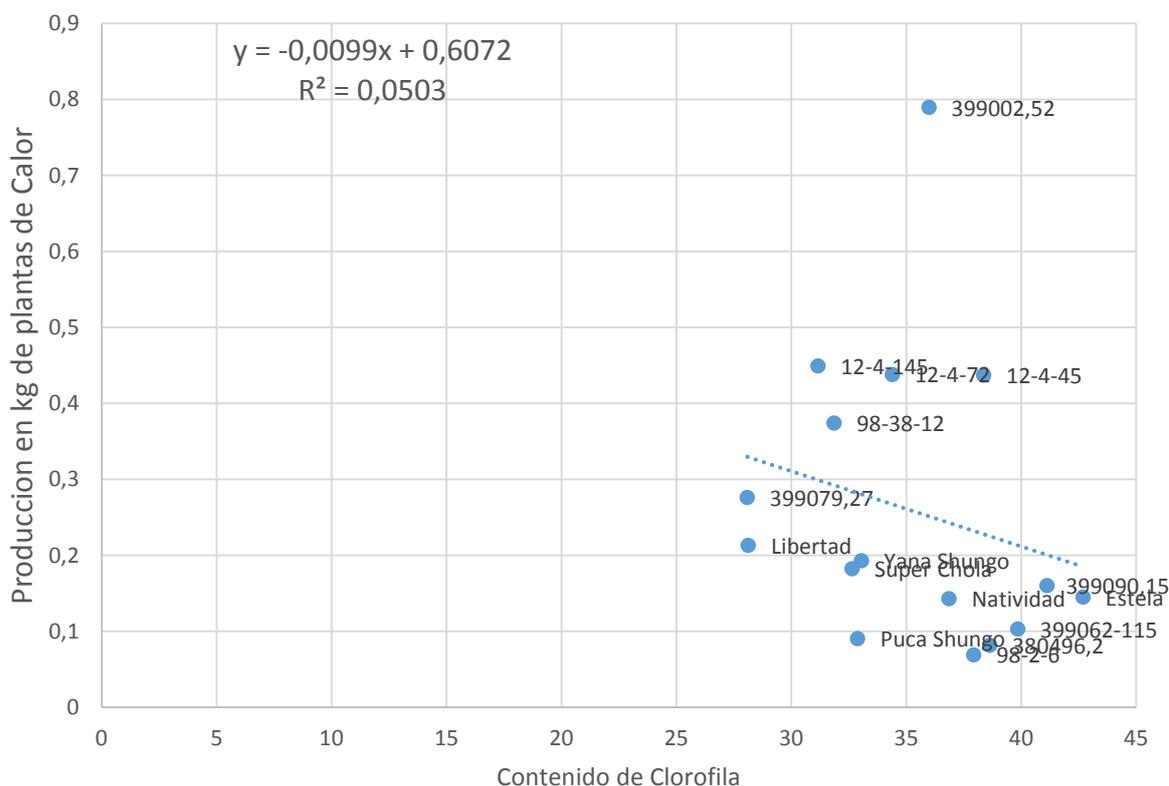


Figura 21: Correlación del contenido de clorofila versus el rendimiento en kg de las plantas sembradas en funda y sometidas al estrés por calor de los veinticuatro genotipos de papa sembrados.

H. Valoración de la tolerancia o susceptibilidad de los genotipos

En la tabla 2 se encuentra la ponderación del daño visual, mientras que en la tabla 3 se encuentra la ponderación del rendimiento. Se ha clasificado de la siguiente manera:

tolerantes (2), medianamente tolerantes (1) y susceptibles (0).

Tabla 2: Ponderación del daño visual en tres escalas.

Clasificación	Valor	Rango
Tolerantes	2	< 30 %
Medianamente tolerantes	1	30.5 – 60 %
Susceptibles	0	> 60%

Tabla 3: Ponderación del rendimiento en tres escalas.

Clasificación	Valor	Rango
Tolerantes	2	> 100%
Medianamente tolerantes	1	80 – 100 %
Susceptibles	0	< 80%

En la tabla 4 se encuentra la valoración de los veinticuatro genotipos de papa en función del daño visual y del rendimiento obtenido una vez sometidos los veinticuatro genotipos de papa a 38°C por 48 horas. Se ha clasificado de la siguiente manera:

tolerantes (4), medianamente tolerantes (3) y susceptibles (2, 1 y 0).

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

Genotipos	Estrés Por Calor		Total
	Daño Visual	Rendimiento	
12-6-29	2	2	4
399090,15	2	2	4
Natividad	2	1	3
12-4-72	1	2	3
Josefina	1	2	3
-Estela	1	2	3
399002,52	1	2	3
12-4-145	1	2	3
12-4-45	1	2	3
Super Chola	1	2	3
399075,26	0	2	2
98-38-12	0	2	2
Yana Shungo	0	2	2
07-32-15	0	2	2
Libertad	0	2	2
399062-115	1	0	1
Puca Shungo	1	0	1
399079,27	1	0	1
380496,2	1	0	1
98-2-6	0	1	1
Victoria	0	1	1
07-46-8	0	0	0
97-25-3	0	0	0
07-40-1	0	0	0

VIII. Discusión

Las altas temperaturas son un tipo de estrés de abiótico, causantes de una serie de daños permanentes en el desarrollo y en el metabolismo de las plantas. El daño causado por este fenómeno abiótico es muy complejo y la afección a los cultivos depende de la duración del estrés, la tasa de aumento de la temperatura y la máxima temperatura alcanzada (Porch & Hall, 2013). Además, dicho estrés en las plantas produce cambios anatómicos, fisiológicos y morfológicos como: cambios en la permeabilidad de las membranas, incrementos de la densidad de estomas y tricomas, reducción de la conductancia estomática, cierre de estomas y reducción de las células (Wahid, 2007). Este ensayo fue desarrollado bajo condiciones controladas, ya que esto permite homogeneizar el efecto de las altas temperaturas en los tratamientos. Con el objetivo de simular las altas temperaturas alcanzadas en ciertas regiones del mundo, llevando los genotipos a temperaturas extremas las cuales son situaciones reales y peligros potenciales causadas por efecto del cambio climático. Si en condiciones de altas temperaturas, 38°C, los genotipos presentan diferentes niveles de tolerancia, estos pueden ser identificados como posibles genotipos candidatos para procesos de mejoramiento genético y por lo tanto como material vegetal apto para ser utilizado frente al cambio climático.

Se utilizaron tres metodologías que permitieron inferir sobre la susceptibilidad o tolerancia de los veinticuatro genotipos sometidos al estrés por calor, los cuales son los siguientes: daño foliar mediante escala visual, índice de daño por fuga de electrolitos y rendimiento obtenido después del tratamiento. Con estos tres parámetros se realizó una valoración para clasificar los genotipos en tolerantes, medianamente tolerantes y susceptibles a las altas temperaturas. Se complementó con metodologías fisiológicas que nos permiten entender cómo se comporta la planta de papa frente al estrés por calor, las metodologías utilizadas son las siguientes: conductancia estomática, fluorescencia de la clorofila y contenido de clorofila.

A. Daño Foliar mediante Escala Visual

En la figura 1 se puede observar cómo se comportan visualmente ocho de los veinticuatro genotipos, estos ocho genotipos son todas las variedades comerciales utilizadas durante esta experimentación. El comportamiento de los genotipos frente al estrés por calor depende totalmente de la tolerancia o susceptibilidad que estos mantengan, como menciona Porch y Hall (2013) las altas temperaturas suelen causar una serie de daños definitivos en las plantas. Este daño puede ser corroborado en la variedad Libertad y Victoria, las cuales presenta una buena parte de su tejido foliar necrosado después de haber sido sometidas a 38°C por 48 horas. Por otro lado, las demás variedades presentadas en la figura 1; Estela, Josefina, Natividad, Puca Shungo, Super Chola, Yana Shungo; demuestran un nivel menor en el daño al tejido foliar.

B. Rendimiento Obtenido

Los valores que comparan el rendimiento sin estrés versus estrés por calor se encuentran en la figura 3, en donde se observa poca significancia en la mayoría de los genotipos.

Los genotipos expuestos al estrés por calor que presentaron rendimientos menores al control son: Puca Shungo, 07-40-1, 07-46-8, 380496,2, 399062-115, 399079,27, 97-25-3 y 98-2-6. Pueden ser considerados como genotipos susceptibles dado a que la afección del tratamiento conlleva a pérdidas en la productividad de dichos genotipos. Por otro lado, los genotipos restantes se consideran como medianamente tolerantes, ya que presenta rendimientos cercanos a los del control. Mientras que los genotipos sometidos al estrés por calor que presentaron una producción igual o mayor al control son: Estela, Josefina, Libertad, Yana Shungo, 07-32-15, 12-4-45, 12-4-72, 12-6-29, 399090,15 y 98-38-12. Esto puede estar ligado a la translocación de nutrientes dado a que una vez que el tejido foliar se ve afectado por el tratamiento, los nutrientes que estaban presentes en el tejido foliar se mueven hacia los

tubérculos como mecanismo de supervivencia, producción de semilla para épocas con mejores condiciones climáticas.

En la figura 4 podemos observar que existen genotipos que aumentan su productividad, mientras que otros no ganan ni pierden en rendimiento y las que son susceptibles porque disminuyen mucho su rendimiento, Los genotipos considerados como tolerantes con un rendimiento superior a su control sobre 120% son (07-32-15), (12-6-29), Libertad, (98-38-12), (12-4-45), Estela, Yana Shungo, (399090,15) y (12-4-72). Mientras que los genotipos que reducen su productividad por debajo del 80% de su rendimiento son (97-25-3), (07-40-1), (380496,2), Puca Shungo, (399079,27), (07-46-8) y (399062-115). Estos cambios en los niveles de productividad pueden estar ligados a los diferentes pisos climáticos a los cuales los genotipos fueron adaptados, con diferentes condiciones fisiológicas para su adaptación.

C. Correlación

El resultado de la correlación de los veinticuatro genotipos de papa del rendimiento, expresado en kilogramos, sin estrés versus las sometidas a 38°C por 48 horas se encuentran en la figura 5. Además se presenta un valor del 65.43% de correlación. Mientras que los demás genotipos se encuentran por debajo. De esta manera se da una correlación positiva, entre mientras más rendimiento tiene una planta bajo condiciones ideales, también tendrá una mayor producción bajo condiciones. El resultado de la correlación de los veinticuatro genotipos de papa del porcentaje de daño visual versus el rendimiento en kilogramos de los genotipos sometidos a 38°C por 48 horas se encuentran en la figura 6. Se presenta un valor del 12.42% de correlación, Demostrando un nivel bajo de correlación, siendo así poco válido para inferir por medio de la correlación que si se daña menos el tejido foliar la planta igual va a producir más.

D. Índice de Daño por Fuga de Electrolitos

El índice de daño causado por el tratamiento de calor se observan que en la figura 7, los siguientes genotipos presentan una mayor liberación de electrolitos después de haber sido sometidos a las altas temperaturas: Victoria, 07-32-15, 07-40-1, 07-46-8 y 97-25-3, considerándose así susceptibles. Por otro lado, los genotipos: Estela, Josefina, Libertad, Natividad, Puca Shungo, Super Chola, Yana Shungo, 12-4-45, 12-4-72, 12-4-145, 380496,2, 399002,52, 399062-115 y 399090,15 se consideran tolerantes ya que presentan valores por debajo del 8%. Finalmente, los genotipos: 12-6-29, 399075,26, 399079,27, 98-2-6 y 98-38-12 se clasifican como medianamente tolerante.

Los resultados que se presentan en esta sección demuestran que el comportamiento de los genotipos en altas temperaturas es distinto para cada uno. A pesar de que los veinticuatro genotipos se expongan a la misma temperatura y al mismo tiempo de exposición, los valores que se obtienen mediante la metodología de fuga de electrolitos son variados. En función de estas mediciones se puede observar que existen diferentes niveles de tolerancia para el estrés por calor. Por otra parte, se puede asociar que la variabilidad que existe en los datos tomados de los veinticuatro genotipos de papa sometidos a altas temperaturas se puede atribuir a dos factores. El primero, la distribución del flujo de aire dentro de la cámara caliente, se puede afirmar que la corriente de aire dentro del cuarto caliente no fue uniforme para todas las plantas ya que la posición de las plantas no permitía el paso del aire de manera homogénea a las plantas ubicadas en la parte posterior, lo cual afecto a unas plantas más que a otras. El segundo, la toma de muestras de disco de hojas pudieron encontrarse con residuo de algún agro químico o estuvo en contacto con el suelo y no se limpió adecuadamente, por lo que las mediciones en algunos genotipos presentaron valores adicionales.

Se debe tener presente que la fuga de electrolitos se puede cuantificar al instante en el que la planta se somete al estrés. El fundamento de esta metodología se basa en la liberación de

iones potasio fuera del espacio de la célula, en este caso el agua destilada, además de sus iones contrarios: citrato, cloro, fosfato, malato y nitrato (Demidchick & Straltsova, 2017). Debido al estrés por calor, las membranas celulares son las primeras en sufrir el choque térmico, ya que este aumento en la temperatura conlleva la desnaturalización de proteínas y enzimas, y el aumento en la presencia de ácidos grasos insaturados (Wang, y otros, 2011; Savchenko, Klyuchareva, Abrabchik, & Serdyuchenko, 2002). Debido a esto, los lípidos de las membranas se vuelven más fluidos y permeables, por lo que se da la fuga de electrolitos hacia el espacio exterior de la célula (Los & Murata, 2004).

Por otra parte, los genotipos que concuerdan en tolerancia con la escala visual son los siguientes: Estela, Josefina, Natividad, 12-4-72, 399062-115 y 399090,15; mientras que los genotipos susceptibles en la escala visual y fuga de electrolitos son: Victoria, 07-32-15, 07-40-1, 07-46-8 y 97-25-3.

Los genotipos considerados como mayormente resistentes son los siguientes: 12-6-29, 12-4-72, 399090,15. Los genotipos resistentes son: Estela, Josefina, 12-4-45 y Libertad. Por otro lado, los genotipos tolerantes son: Libertad, Natividad, Super Chola, Yana Shungo, 07-32-15, 12-4-145, 399002,52, 98-38-12, 399062-115 y 399075,26. Finalmente, los genotipos considerados como susceptibles son: Puca Shungo, Victoria, 380496,2, 399079,27, 98-2-6, 07-40-1, 07-46-8 y 97-25-3.

El resultado de la correlación de los veinticuatro genotipos de papa del daño por fuga de electrolitos versus el porcentaje de daño visual los veinticuatro genotipos sometidos a 38°C por 48 horas se encuentran en la figura 8. Se presenta un valor del 32.36% de correlación lo que nos explica que la fuga de electrolitos representa un 32% de la causa del daño del tejido foliar evaluado mediante la metodología de escala visual. De esta manera los genotipos que tienen un menor índice de fuga de electrolitos, también presentan un menor daño del tejido foliar.

El resultado de la correlación de los veinticuatro genotipos de papa mediante la metodología de fuga de electrolitos versus el rendimiento en kilogramos de los veinticuatro genotipos sometidos a 38°C por 48 horas se encuentran en la figura 9. Se presenta un valor de la correlación del 0.064%. Se expresa un valor muy cercano a 0 de correlación, siendo así un parámetro nulo para estimar la productividad basada en el nivel de daño por fuga de electrolitos.

E. Conductancia Estomática

La cantidad de agua transpirada es cuantificada a través de la apertura estomática en función del vapor de agua que sale por los estomas de las hojas, se determina por varios factores abióticos y no solo por la cantidad de agua disponible en el suelo sino también por la radiación solar o la intensidad lumínica, la velocidad del viento y la temperatura (Gimenez, Gallardo, & Thompson, 2013). Debido a este comportamiento fisiológico, las plantas tienen la capacidad de modificar la apertura o cierre de los estomas cuando experimentan un estrés abiótico regularizando los mecanismos metabólicos de la planta y evitar daño en los tejidos. A partir de esto, la planta se comporta y regula de una manera eficiente el funcionamiento de los estomas, esto para evitar deshidratación de los tejidos y para cumplir con el intercambio gaseoso necesario para la fotosíntesis.

La figura 10 presenta los resultados de la conductancia estomática en los veinticuatro genotipos de papa previo al estrés por calor. Se observa que los genotipos Josefina, Puca Libertad, (07-32-15), (07-46-8), (12-4-72), (12-6-29), (39900,52), (399075,26) y (98-38-12) tienen una tasa de transpiración superior a los 800 mmol/m*s. En contraste, se encuentran con una tasa de transpiración menor a los 600 mmol/m*s los siguientes genotipos: Super Chola, (12-4-145) y (399079,27). Mientras que los demás genotipos se encuentran entre los 600-800 mmol/m*s, esto demuestra que cada genotipo se comporta de diferente manera frente al ambiente.

En la figura 11 se encuentran los resultados de la apertura estomática relativa de los veinticuatro genotipos de papa sometidos a 38°C por 48 horas. Las mediciones se realizaron una hora después de haber terminado la exposición a las altas temperaturas. Se observa una tendencia clara en todos los genotipos, la apertura estomática se encuentra por debajo del 60% frente a la conductancia estomática sin estrés o plantas control.

El resultado de la correlación de los veinticuatro genotipos de papa de la conductancia estomática versus el porcentaje de daño visual en los veinticuatro genotipos sometidos a 38°C por 48 horas se encuentran en la figura 12. Se presenta un valor del 1.02% de correlación. Se expresa un valor bastante bajo de correlación, siendo así un parámetro de baja calidad para inferir que la conductancia estomática explica el daño en el tejido foliar.

El resultado de la correlación de los veinticuatro genotipos de papa de la conductancia estomática versus el rendimiento en kg de los veinticuatro genotipos sometidos a 38°C por 48 horas se encuentran en la figura 13. Se presenta un valor del 12.94% de correlación. Se expresa un valor relativamente bajo de correlación, para explicar que a menor conductancia estomática se tiene una mayor producción de tubérculos de papa.

F. Fluorescencia de la Clorofila

En los resultados obtenidos se puede observar que todos los genotipos redujeron su actividad fotosintética por debajo del 65% frente a las plantas sin estrés. Los genotipos que presentan una fluorescencia mayor al 40% son los siguientes: (12-4-72), (12-4-145), (399002,52) y (399079,27). Mientras que los genotipos que presentan un porcentaje menor al 10% en la fluorescencia relativa son: Josefina, Puca Shungo, Victoria, Yana Shungo, (07-32-15), (07-40-1), (07-46-8), (12-6-29), (399075,26) y (97-25-3). Los genotipos restantes se encuentran entre el 10 y 40 % de la fluorescencia relativa. Por otra parte, no se observa una correlación directa entre el daño por escala visual y el nivel de fluorescencia de la clorofila, posterior al estrés por calor. La actividad fotosintética de los cloroplastos es una de las

actividades más sensibles a las altas temperaturas (Havaux, 1993). Se presenta un valor del 7.85% de correlación para la fluorescencia de la clorofila versus el porcentaje de daño visual, dando como resultado un parámetro de baja calidad para inferior, mientras que para la fluorescencia de la clorofila versus el rendimiento por calor se obtiene un valor de 1.9% de correlación, siendo un indicador bastante bajo para relacionar a los dos parámetros.

G. Contenido de Clorofila

La pigmentación verdosa que presentan las plantas es gracias a la clorofila, y la cantidad presente en el tejido vegetal es un indicador de la capacidad fotosintética que tienen las plantas (Palta, 1990). Los resultados demuestran un diferente contenido de clorofila para cada uno de los genotipos, los genotipos que presentaron valores superiores a 45 unidades SPAD fueron: Victoria, 07-32-15 y 12-6-29. Por otro lado, el único genotipo que presenta un valor menor a las 35 unidades SPAD es Libertad. Con respecto a los demás genotipos, estos se encuentran en el rango 33 y 47 unidades de SPAD. La presencia de mayor cantidad de clorofila indica que la planta tiene una mayor capacidad de convertir la energía lumínica en energía química para los procesos de la planta.

Los resultados en la figura 19 consta de dieciséis genotipos, esto se debe a que después de la exposición a las altas temperaturas los ocho genotipos restantes no tenían tejido foliar verde, ya que se encontraban realmente afectados y la medición no pudo ser realizada en dichos genotipos. Además, se presenta que el único genotipo que reduce su contenido de clorofila hasta un 70 % es 399079,27, mientras que el único genotipo que supera el contenido de clorofila después de haber sido sometido al estrés por calor es 12-4-45. Para los demás genotipos, se mantiene una reducción hasta un 75% del contenido de clorofila frente al control. Finalmente, no se encuentra correlación directa entre la escala visual de daño con el contenido relativo de clorofila después de haber sido expuesto a altas temperaturas.

Para la correlación entre el contenido de clorofila versus el porcentaje de daño visual se obtiene un 33.28% de correlación, y para el contenido de clorofila versus la producción de plantas sometidas al tratamiento de calor se obtiene un 5.03%, estos valores se encuentran sin ocho genotipos, los cuales se encontraron con el tejido necrótico, por lo que existe una pérdida de información para el parámetro de correlación con contenido de clorofila.

H. Valoración

En la tabla 2 y 3 se encuentra la ponderación y la separación en rangos para dar un valor a cada uno de los veinticuatro genotipos de papa sometidos al estrés por calor, en función del daño visual y del rendimiento, respectivamente. Se ha clasificado de la siguiente manera: tolerante (2), medianamente tolerantes (1) y susceptibles (0). Además, en la tabla 4 se considera la suma de estos dos parámetros para definir lo siguiente: 4 tolerantes, 3 medianamente tolerantes y 0-1-2 susceptibles.

Los genotipos considerados como tolerantes son: 12-6-29 y 399090,15. Los genotipos medianamente tolerantes son: Natividad, 12-4-72, Josefina, Estela, 39902,52, 12-4-145, 12-4-45 y Super Chola. Finalmente, los genotipos considerados como susceptibles son: 399075,26, 98-38-12, Yana Shungo, 07-32-15, Libertad, 399062-115, Puca Shungo, 399079,27, 380496,2, 98-2-6, Victoria, 07-46-8, 97-25-3 y 07-40-1.

IX. Conclusiones

- El efecto de las altas temperaturas (38°C) causan daño sobre el tejido vegetal de la planta de papa y se observa una diferente respuesta de daño en los genotipos utilizados durante la experimentación.
- Las metodologías de fuga de electrolitos, conductancia estomática, fluorescencia de la clorofila y contenido de clorofila sirven para entender la respuesta fisiológica frente al estrés por calor, más no para determinar susceptibilidad o tolerancia al estrés por calor.
- No existe correlación directa entre la escala visual de daño, fuga de electrolitos y cuantificación del rendimiento, con el contenido de clorofila.
- Esta experimentación aporta a trabajos realizados en el cultivo de papa expuesto al estrés por calor, y de esta manera contribuir con información para mejoramiento genético o selección de variedades tolerantes al estrés por calor resultante del cambio climático.

X. Recomendaciones

- Aumentar la capacidad de las fundas a ser utilizadas para obtener información más cercana al rendimiento real en condiciones de campo.
- Desarrollar un modelo multivariable estadístico que correlacione los distintos parámetros utilizados en esta experimentación, esto con la finalidad de comprender que parámetro aporta de mayor o menor manera a la tolerancia o susceptibilidad de las plantas de papa frente al estrés por calor.
- Mejorar las condiciones de experimentación mediante el establecimiento de un plan de fertilización y fumigación para suplir adecuadamente los nutrientes para las plantas y para controlar problemas fitosanitarios mediante buenas prácticas agrícolas, y de esta manera obtener una mayor productividad.
- Determinar las variables y repeticiones a ser utilizadas, esto con la finalidad de optimizar el tiempo y definir los parámetros que tienen mayor importancia sobre la susceptibilidad o tolerancia al estrés por calor.

XI. Bibliografía

- Agroware. (14 de Octubre de 2016). Ranking de Productos Agrícolas de Mayor Demanda en el Mundo. México. Recuperado el 22 de Noviembre de 2018, de <http://sistemaagricola.com.mx/blog/ranking-productos-agricolas-mayor-demanda-en-el-mundo/>
- Ahn, Y., Claussen, K., & Zimmerman, J. (2004). Genotypic differences in the heat-shock response and thermotolerance in four potato cultivars. *Plant Science*, 901-911.
- Almeselmani, M., Desmukh, P., Sairam, R., Kushwaka, S., & Singh, T. (2006). Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress. *Plant Science*, 171, 382-388.
- Amagua, J. (2013). *Respuesta a bajas temperaturas en treinta genotipos de papa (Solanum tuberosum)*. Quito: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas.
- Bhaskara, G., Wen, T., Nguyen, T., & Verslues, P. (2016). Protein Phosphatase 2Cs and microtubule-associated stress protein 1 control microtubule stability, plant growth and drought response. *The Plant Cell*, 29(1), 169-191.
- Calispa, F. (2000). Manejo y conservación de suelos. Consorcio de capacitación para el manejo de recursos naturales. 169-170. Quito, Ecuador.
- Chaves, N., & Gutiérrez, M. (2017). Respuestas al estrés por calor en los Cultivos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 255-271.
- Chávez, R. (2008). Sobre el Origen, Evolución y Diversidad Genética de la Papa Cultivada y la Silvestre. Miraflores, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Recuperado el 24 de Noviembre de 2018, de <http://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/CYD/article/viewFile/313/267>
- CIP. (04 de Diciembre de 2015). Procesamiento y Usos de la Papa. Recuperado el 22 de Noviembre de 2018

- CIP. (2017). Hechos y cifras sobre la papa. Recuperado el 22 de Noviembre de 2018, de <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/87957/CIP-Hechos-y-cifras-sobre-la-papa-Espanol-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Coppock, D., & Valdivia, C. (2001). Sustaining agropastoralism on the Bolivian Altiplano: The Case of San José LLanga. Logan, Utah, USA: Utah State University, Department of Rangeland Resources.
- Cuesta, X., Andrade, H., Bastidas, O., & Sherwood, S. (2002). *Botánica y Mejoramiento Genético de la Papa*. Quito: INIAP.
- Demidchick, V., & Straltsova, D. (2017). Stress-Induced electrolyte leakage: The role of K⁺ permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustments. *Journal of Experimental Botany*.
- Devaux, A., Andrade, J., Ordinola, M., Velasco, C., Hareau, & G. (Junio de 2011). La Papa y la Seguridad Alimentaria en la Región Andina: Situación Actual y Desafíos para la Innovación. CIP. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/67650/74871.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Devaux, A., Ordinola, M., Hibon, A., & Flores, R. (Febrero de 2010). El sector papa en la región andina. Diagnóstico y elementos para una visión estratégica (Bolivia, Ecuador y Perú). Perú: CIP. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/73217/73193.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Ekanayake, I. (1994). Estudios sobre el Estrés por Sequía y la necesidad de Riego de la Papa. Lima: CIP.
- FAO. (2008). El cultivo. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/cultivo.html>

- FAO. (2008). Las papas, la nutrición y la alimentación. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/hojas.html>
- FAO. (2018). FAOSTAT. Recuperado el 22 de Noviembre de 2018, de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- FAO. (2018). *Labor de la FAO en materia de cambio climático*. Roma.
- Fedepapa. (Julio de 2017). Boletín Econopapa No.32. *Mercado Nacional: Estimación de la producción mundial de papa para el año 2017*. Colombia. Recuperado el 22 de Noviembre de 2018, de <http://fedepapa.com/Boletines/QUINCENALES/BOLETÍN%20ECONOPAPA%2032.pdf>
- Fernandez, G., & Johnston, M. (2006). *Crecimiento y Temperatura*. Chile: Universidad de la Serena.
- Flint, H. (1966). Index of Injury: A Useful Expression of Freezing Injury to Plant Tissues as Determinated by the Electrolytic Method. *Vermont: University of Vermont, Journal Article, 169*.
- Flint, H. (1966). *Index of Injury: A Useful Expression of Freezing Injury to Plant Tissues as Determined by the Electrolytic Method*. Vermont: University of Vermont, Journal Article No. 169.
- Gabriel, J., Magne, J., García, R., & Coca, J. (2009). Variedades nativas de papa: Tecnología tangible para afrontar el efecto causado por la helada y la sequía. Bolivia: Revista Latinoamericana de la Papa. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/235759390_Variedades_nativas_de_papa_Tecnologia_tangible_para_afrontar_el_efecto_causado_por_la_helada_y_la_sequia/download

- Gandarillas, A., & Ortuño, N. (2009). Compendio de Enfermedades, Insectos, Nematodos y Factores Abióticos que Afectan el Cultivo de Papa en Bolivia. Cochabamba, Bolivia: Fundación PROINPA. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de <https://www.proinpa.org/tic/pdf/Papa/Plagas%20de%20la%20papa/Otras%20plagas/pdf16.pdf>
- Gimenez, C., Gallardo, M., & Thompson, R. (2013). Plant-Water Relations. *Earth Systems and Environmental Sciences*, 231-238.
- Hannapel, D., Chen, H., Rosin, F., Banerjee, K., & Davies, J. (2004). Molecular controls of tuberization. *American Journal of Potato Research*, 81, 363-274.
- Hardy, B. (1996). Major Potato Diseases, Insects, and Nematodes. Lima, Perú: CIP.
- Havaux, M. (1993). Rapid photosynthetic adaptation to heat stress triggered in potato leaves by moderately elevated temperatures. *Plant, Cell and Environment*, 461-467.
- Hiremath, B., Woong, J., Sajeesh, Kappachery, & Won, S. (2013). A systematic exploration of high-temperature stress-responsive genes in potato using large-scale yeast functional screening. *Molecular Genetics and Genomics - Springer*.
- Huamán, Z., & Spooner, D. (2002). Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *Petota*). 947-965. *American Journal of Botany*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2018, de <https://pubag.nal.usda.gov/download/2480/PDF>
- Iba, K. (2002). Acclimate response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 53, 225-245.
- INIAP. (2014). Papa. Ecuador. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mraiz/rpapa>
- Jensen, N. (2010). Exploring the relationships between livelihood dimensions and socio-ecological resiliencie in the Bolivian Altiplano. Master's Thesis. University of Missouri-Columbia.

- Los, D., & Murata, N. (2004). Membrane fluidity and its roles in the perception of environmental signals. *BBA Biomenbranes*, 1666, 142-157.
- MAG. (2016). Boletín Situacional Papa. Ecuador. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de http://sipa.agricultura.gob.ec/biblioteca/boletines_situacionales/2016/papa/boletin_situacional_papa_2016.pdf
- MAGAP. (2018). Ecuador se proyecta a ser exportador de papa. Ecuador. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-se-proyecta-a-ser-exportador-de-papa/>
- Mastrocola, N., Pino, G., Mera, X., Rojano, Polivio, Haro, F., . . . Cuesta, X. (Marzo de 2016). Catálogo de variedadesde papa del Ecuador. Quito, Pichincha, Ecuador: FAO-INIAP. Recuperado el 24 de Noviembre de 2018, de <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2748/1/iniapscpm427.pdf>
- Monneveux, P., Ramírez, D., Khan, A., Raymundo, H., Loayza, H., & Quiroz, R. (Julio de 2014). Drought and heat tolerance evaluation in potato (*Solanum tuberosum* L.). Bélgica: CGIAR-CIP. Recuperado el 02 de Diciembre de 2018, de http://www.agripres.be/_STUDIOEMMA_UPLOADS/downloads/09h30.-Monneveux.-Presentation-PMonneveux-et-al-new-format1_1__Copy.pdf
- Montaldo, A. (1984). *Cultivo y Mejoramiento de la Papa*. Costa Rica: IICA.
- Morales, S., Mora, R., Rodríguez, J., Salinas, Y., Colina, M., & Lozoya, H. (Abril de 2011). Desarrollo y rendimiento de papa en respuesta a la siembra de semilla-tubérculo inmadura. México: Revista Chapingo. Serie Horticultura. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2011000100011

- Moreno, M., & Oropeza, M. (Diciembre de 2017). Efecto de las hormonas vegetales y el fotoperiodo en la producción de microtubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.). Colombia: Revista Colombiana de Biotecnología. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de <http://bdigital.unal.edu.co/67694/1/69499-364969-1-PB.pdf>
- Muñoz, M. (Octubre de 2014). Revista Agrícola. *Composición y aportes nutricionales de la papa*. Chile: INIA. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2014/09/revista_agricola_octubre_36-37.pdf
- Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., . . . Lee, D. (Octubre de 2009). *Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Washington: IFPRI.
- Orrillo, M., & Bonierbale, M. (Abril de 2009). Manual Técnico. *Biología reproductiva y citogenética de la papa*. CIP. Recuperado el 24 de Noviembre de 2018, de https://research.cip.cgiar.org/confluence/download/attachments/14942278/Manual_Citologia_2009-04-17%2BBB.pdf
- Palta, J. (1990). 1.2 Leaf Chlorophyll Content. *Remote Sensing Reviews*, 5(1), 207-213.
- Pérez, W., & Forbes, G. (Julio de 2011). Guía de identificación de plagas que afectan a la papa en la zona andina. Lima, Perú: CIP-FAO. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/019/as407s/as407s.pdf>
- Pino, M. (2009). Principales tipos de estrés abiótico que afectan al cultivo de papa comercial, y su importancia para la Región de Magallanes. Chile: INIA. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de <http://biblioteca.inia.cl/medios/subsitios/nodohortofruticola/SeminarioPapaJun09/maria.pdf>

- Ponce, R. (2013). *Caracterización molecular de las variedades de papas cultivadas (Solanum spp.) más importantes del Perú mediante el uso de microstélites*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Porch, T., & Hall, A. (2013). Heat tolerance. (C. Kole, Ed.) *Genomics and breeding for climate-resilient crops*, 2, 167-202.
- Quiroz, R., Posada, C., & Yarleque, H. (2016). *Retos para la Producción Sostenible de Papas*. Lima: CIP.
- Rodríguez, F., Wu, F., Ané, C., Tanksley, S., & Spooner, D. (07 de Agosto de 2009). Do potatoes and tomatoes have a single evolutionary history, and what proportion of the genome supports this history?. Wisconsin, USA: University of Wisconsin-Madison. Recuperado el 21 de Noviembre de 2018, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19664206>
- Rodríguez, L. (2009). Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (Solanum L. sect. Petota Dumort). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 21 de Noviembre de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316242003>
- Rodríguez, L. (2010). Ecofisiología del cultivo de la papa (Solanum tuberosum L.). 4(1). Bogotá, Colombia: Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, Pontificie Universidad Javeriana. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1229/1228
- Rodríguez, L. (05 de Marzo de 2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 21 de Noviembre de 2018, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17588/37339>

- Román, M., & Hurtado, G. (Diciembre). Guía Técnica: Cultivo de La Papa. El Salvador: CENTA. Recuperado el 21 de Noviembre de 2018, de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Papa.pdf>
- Rubio, C., Rangel, G., Flores, L., Magallanes, G., Díaz, H., Zavala, Q., . . . Paredes, T. (2000). Manual para la Producción de Papa en las Sierras y Valles Altos del Centro de México. En *Libro Técnico No. 1* (pág. 38). México: División Agrícola INIFAP.
- Sage, R., & Kubien, D. (2007). The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant, Cell and Environment*, 30, 1086-1106.
- Sánchez, J. (2014). *Introducción al Diseño Experimental*. Quito: Impresión Giro Diseño Creativo.
- Savchenko, G., Klyuchareva, E., Abrabchik, L., & Serdyuchenko, E. (2002). Effect of periodic heat shock on the membrane system of etioplasts. *Russian Journal of Plant Physiology*, 49, 349-359.
- Seabrook, J. (2005). Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) in vitro: A review. 82, 353-367.
- SIPA. (2017). Caracterización del productor y de la producción de papa 2017. Ecuador. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/papa/caracterizacion>
- Stäubli, B., Wenger, R., & Wymman, S. (2008). *La papa y el cambio climático*. Chile: InfoResources.
- Stevenson, W., Loria, R., Franc, G., & Weintgartner, D. (2001). Physiological Disorders of Tubers: Internal Symptoms. (2). USA: American Phytopathological Society.
- Tapia, M., & Fries, A. (2007). Guía de Campo de los Cultivos Andinos. Roma, Italia: FAO. Recuperado el 21 de Noviembre de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/010/ai185s/ai185s.pdf>

- Torneux, C., Devaux, A., Camacho, M., Mamani, P., & Ledent, J. (2003). Effects of water shortage on six potato genotypes in the highlands of Bolivia (I): Morphological parameters, growth and yield. 169-179. INRA, EDP Sciences.
doi:10.1051/agro:2002079
- Torres, H. (Julio de 2002). Manual de las enfermedades más importantes de la Papa en el Perú. Lima, Perú: CIP. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/07/002485.pdf>
- UACH. (2018). Especie: Papa. Chile. Recuperado el 28 de Noviembre de 2018, de <http://www.hortprocess.uach.cl/hortalizas/papa.php>
- UCSM. (2018). El mayor productor de papa en el mundo es China. Perú: Universidad Católica de Santa María. Recuperado el 22 de Noviembre de 2018, de <http://www.ucsm.edu.pe/el-mayor-productor-de-papa-en-el-mundo-es-china/>
- Valadez, A. (1989). *Producción de Hortalizas*. Limusa.
- Vega, S., & Bamberg, J. (1995). Screening the U.S. potato collection for frost hardiness. *American Potato Journal*.
- Wahid, A. (2007). Physiological implications of metabolite biosynthesis for net assimilation and heat-stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. *Journal of Plant Research*, 120, 219-228.
- Wahid, A., Gelani, S., Ahsraf, M., & Fooland, R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61, 199-223.
- Wang, L., Tsai, M., Chang, K., Fan, Y., Yeh, C., & Wu, S. (2011). Involvement of the Arabidopsis HIT1/AtVPS53 tethering protein homologue in the acclimation of the plasma membrane to heat stress. *Journal of Experimental Botany*, 62, 3609-3620.

Zotareli, L., Reyes, E., Worthington, C., Hutchinson, C., Byrd, S., Gergela, D., & Rowland,

D. (Mayo de 2013). Trastornos fisiológicos de la papa - Necrosis por calor interno.

Florida, USA: University of Florida.

Zuñiga, S., Morales, C., & Estrada, M. (2018). *Cultivo de la papa y sus condiciones*

climáticas. Quito: Universidad Metropolitana del Ecuador.

XII. Anexos

Tabla 5: Conductancia Estomática de los veinticuatro genotipos de papa expuestos a una temperatura de 38°C por 48 horas.

Tabla Resumen Conductancia Estomática								
Genotipo	Antes	Después	Dev 1	Dev 2	Error 1	Error 2	% Relativo a 100	% Después del Calor
Estela	774,100	235,867	76,55315147	36,21696963	38,27657574	20,90987716	100	30,46979288
Josefina	921,725	153,275	140,5892844	33,71671507	70,29464218	16,85835753	100	16,62914644
Libertad	827,525	135,975	103,853632	33,36662816	51,92681599	16,68331408	100	16,43152775
Natividad	734,150	145,900	95,52584729	41,20394399	47,76292364	20,60197199	100	19,87332289
Puca Shungo	731,400	272,925	141,1270173	56,61410491	70,56350863	28,30705246	100	37,31542248
Super Chola	592,050	173,550	96,3655151	33,27840892	48,18275755	16,63920446	100	29,31340258
Victoria	787,500	111,375	136,4581987	33,28177993	68,22909936	16,64088996	100	14,14285714
Yana Shungo	632,975	211,725	168,7371088	21,84529412	84,36855438	10,92264706	100	33,44918836
07-32-15	834,400	51,950	95,96486336	4,476885078	47,98243168	2,238442539	100	6,226030681
07-40-1	793,775	337,933	114,5393901	84,34541415	57,26969503	48,69684757	100	42,57293734
07-46-8	875,325	102,700	51,94186053	28,11343095	25,97093026	14,05671548	100	11,73278497
12-4-45	736,950	110,400	105,4835651	30,38955413	52,74178254	15,19477706	100	14,98066355
12-4-72	830,250	99,925	142,3735492	30,84796387	71,18677458	15,42398194	100	12,03553147
12-4-145	548,500	107,775	114,7111372	15,04898252	57,3555686	7,524491262	100	19,64904284
12-6-29	943,500	181,300	71,11353598	7,13757662	35,55676799	3,56878831	100	19,21568627
380496,2	659,850	184,467	49,62365867	57,80567062	24,81182934	33,37411949	100	27,95584855
399002,52	837,850	91,925	124,925848	9,716062731	62,462924	4,858031366	100	10,97153428
399062-115	779,075	433,800	56,27798748	26,52445413	28,13899374	15,31390073	100	55,68141707
399075,26	884,925	80,333	152,5919129	9,179808761	76,29595644	5,299965059	100	9,077982127
399079,27	488,975	123,125	35,92418231	21,98697057	17,96209116	10,99348529	100	25,18022394
399090,15	748,250	136,200	173,8914963	42,16094164	86,94574817	21,08047082	100	18,20247244
97-25-3	634,825	80,150	120,7133459	19,17882947	60,35667294	9,589414737	100	12,62552672
98-2-6	786,450	284,950	47,52370461	54,6532021	23,76185231	27,32660105	100	36,2324369
98-38-12	822,625	131,275	64,3282743	49,26547346	32,16413715	17,41797518	100	15,95806108

Tabla 6: Fluorómetro de los veinticuatro genotipos de papa expuestos a una temperatura de 38°C por 48 horas.

Tabla Resumen Fluorómetro								
Genotipo	Antes	Después	Dev 1	Dev 2	Error 1	Error 2	% Relativo a 100	% Después del Calor
Estela	3,075	0,482	0,10376265	0,275694124	0,051881325	0,137847062	100	15,65980974
Josefina	4,728	0,025	0,184788768	0,012949421	0,106687845	0,00647471	100	0,523514066
Libertad	3,173	0,960	0,470940216	0,641378398	0,235470108	0,320689199	100	30,24190371
Natividad	3,260	0,925	0,431752461	1,296837539	0,21587623	0,648418769	100	28,3756423
Puca Shungo	4,021	0,175	0,37638212	0,154632629	0,18819106	0,077316315	100	4,339716488
Super Chola	3,567	0,457	0,325583323	0,147198845	0,162791661	0,073599423	100	12,81188674
Victoria	3,660	0,073	0,030879695	0,032136428	0,0178284	0,016068214	100	1,981054741
Yana Shungo	2,395	0,212	0,531673067	0,202317047	0,265836533	0,101158523	100	8,864063479
07-32-15	4,053	0,084	0,073830135	0,033904277	0,042625849	0,016952139	100	2,072709327
07-40-1	3,272	0,094	0,195891693	0,022792543	0,113098122	0,011396271	100	2,872567994
07-46-8	3,750	0,013	0,235065948	0,007228416	0,135715388	0,003614208	100	0,333333333
12-4-45	4,201	1,584	0,346290702	1,048482564	0,173145351	0,524241282	100	37,70384478
12-4-72	4,024	2,586	0,407972426	0,676883483	0,203986213	0,338441742	100	64,25198807
12-4-145	3,793	2,207	0,411106054	0,628632842	0,205553027	0,314316421	100	58,16911619
12-6-29	3,889	0,072	0,398629597	0,029380053	0,230148905	0,014690026	100	1,844789167
380496,2	3,680	0,685	0,527323904	0,425114323	0,263661952	0,212557161	100	18,62092391
399002,52	3,796	1,803	0,357514335	0,306241224	0,178757168	0,153120612	100	47,50395153
399062-115	3,953	0,458	0,442778726	0,565148377	0,221389363	0,282574188	100	11,5798128
399075,26	3,529	0,115	0,096181541	0,027811868	0,055530439	0,013905934	100	3,259021349
399079,27	4,072	2,239	0,13207266	1,330804902	0,06603633	0,665402451	100	54,97575051
399090,15	3,232	0,945	0,193233505	0,195738346	0,096616753	0,097869173	100	29,24112323
97-25-3	2,922	0,079	0,079686887	0,05305893	0,046007246	0,026529465	100	2,686516085
98-2-6	3,382	0,591	0,281207219	0,575900328	0,140603609	0,287950164	100	17,46747487
98-38-12	3,653	0,467	0,328422365	0,501868011	0,164211183	0,250934005	100	12,78576318

Tabla 7: SPAD de los veinticuatro genotipos de papa expuestos a una temperatura de 38°C por 48 horas.

Tabla Resumen SPAD								
Genotipo	Antes	Después	Dev 1	Dev 2	Error 1	Error 2	% Relativo a 100	% Después del Calor
Estela	43,567	42,683	3,308	4,780	1,102634332	1,379756084	100	97,97245601
Josefina	44,089	0,000	2,396	0,000	0,798524016	0	100	0
Libertad	33,844	28,125	6,914	5,353	2,304751459	1,545249216	100	83,10078792
Natividad	40,456	36,858	4,854	3,511	1,617886986	1,013414082	100	91,10821203
Puca Shungo	40,911	32,883	6,914	5,353	2,304751459	1,545249216	100	80,37751222
Super Chola	36,833	32,642	6,102	3,758	2,03415284	1,08496405	100	88,6199095
Victoria	45,378	0,000	2,317	0,000	0,772326576	0	100	0
Yana Shungo	37,833	33,042	6,273	3,967	2,091015466	1,14530796	100	87,33480176
07-32-15	47,100	0,000	3,537	0,000	1,179139674	0	100	0
07-40-1	41,622	0,000	7,840	0,000	2,613203784	0	100	0
07-46-8	38,156	0,000	2,948	0,000	0,982703642	0	100	0
12-4-45	35,244	38,367	6,420	4,488	2,140099866	1,29563012	100	108,8587642
12-4-72	43,667	34,383	5,330	5,716	1,776735806	1,650203411	100	78,74045802
12-4-145	40,678	31,158	6,199	5,670	2,066354682	1,636750606	100	76,59792406
12-6-29	45,322	0,000	2,846	0,000	0,948784509	0	100	0
380496,2	42,944	38,633	5,889	6,562	1,962872115	1,894265224	100	89,96119017
399002,52	41,511	35,983	3,773	3,132	1,257613303	0,903990638	100	86,68361884
399062-115	42,311	39,842	4,863	6,707	1,621114115	1,936113602	100	94,16360294
399075,26	41,533	0,000	4,622	0,000	1,540722934	0	100	0
399079,27	40,422	28,083	6,904	6,730	2,301195491	1,942679755	100	69,47498626
399090,15	44,044	41,117	5,920	6,092	1,973222664	1,758583447	100	93,35267407
97-25-3	36,778	0,000	2,945	0,000	0,981656169	0	100	0
98-2-6	41,878	37,933	5,158	5,194	1,71922878	1,499413466	100	90,58105598
98-38-12	36,911	31,858	3,751	5,440	1,250426539	1,570450145	100	86,31095725

Tabla 8: Daño Visual de los veinticuatro genotipos de papa expuestos a una temperatura de 38°C por 48 horas

Tabla Resumen Daño Visual																	
Genotipo	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Planta 7	Planta 8	Planta 9	Planta 10	Planta 11	Planta 12	Promedio	Daño relativo	Dev	Error e	Error r
Estela	1	2	4	3	3	3	2	2	2	1	2	2	2,416666667	40,27777778	0,953793595	0,275336494	11,39323425
Josefina	4	3	2	2	2	1	2	1	1	2	3	4	2,25	37,5	1,010362971	0,291666667	12,96296296
Libertad	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	5	5,833333333	97,22222222	0,372677996	0,107582871	1,844277784
Natividad	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1,5	25	0,5	0,144331567	9,62250486
Puca Shungo	3	1	0	2	4	2	4	4	3	4	3	4	2,833333333	47,22222222	1,280190958	0,369559297	13,04326691
Super Chola	1	4	3	2	3	4	4	5	3	3	3	5	3,333333333	56,55555556	1,10541597	0,319142369	9,574271078
Victoria	5	4	3	3	5	4	4	4	6	4	6	5	4,416666667	73,61111111	0,953793595	0,275336494	6,234033837
Yana Shungo	3	4	4	3	2	6	2	6	4	5	4	3	3,833333333	63,88888889	1,280190958	0,369559297	9,640677316
07-32-15	2	6	4	6	3	6	2	5	6	3	6	6	4,583333333	76,38888889	1,605113357	0,463356314	10,10959231
07-40-1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	100	0	0	0
07-46-8	6	5	2	5	5	4	5	6	3	6	4	5	4,666666667	77,77777778	1,178511302	0,340206999	7,290148044
12-4-45	3	3	3	4	3	3	4	5	3	2	3	2	3,166666667	52,77777778	0,799305254	0,230739552	7,28551216
12-4-72	2	3	2	1	2	1	3	2	1	4	1	2	2	33,33333333	0,912870929	0,263523138	13,17615692
12-4-145	4	3	5	2	3	3	3	2	3	3	2	4	3,083333333	51,38888889	0,862006703	0,248839901	8,070483273
12-6-29	1	1	0	1	1	3	2	2	1	0	0	1	1,083333333	18,05555556	0,862006703	0,248839901	22,96983701
380496,2	1	3	3	3	5	4	5	2	4	5	4	4	3,583333333	59,72222222	1,187317237	0,342748963	9,565087348
399002,52	3	2	2	3	3	1	4	4	2	2	2	3	2,583333333	43,05555556	0,862006703	0,248839901	9,632512294
399062-115	4	3	0	2	0	2	2	1	2	2	1	3	1,833333333	30,55555556	1,1426091	0,329842836	17,9914274
399075,26	3	6	6	4	2	3	3	2	3	2	6	5	3,75	62,5	1,534232987	0,443921742	11,81127913
399079,27	2	3	3	4	3	4	4	5	3	4	4	3	3,5	58,33333333	0,763762616	0,220479276	6,299407983
399090,15	1	0	2	0	4	3	1	1	2	2	2	1	1,583333333	26,38888889	1,114924013	0,32185084	20,32742145
97-25-3	6	6	5	6	6	5	6	6	4	5	6	6	5,833333333	93,05555556	0,640095479	0,184779649	3,309486243
98-2-6	1	4	6	5	4	4	5	6	5	3	5	4	4,333333333	72,22222222	1,312334646	0,37883838	8,742424165
98-38-12	3	2	4	5	5	3	3	2	6	5	4	3	3,75	62,5	1,233220716	0,356000156	9,493377495

Tabla 9: Fuga de Electrolitos de los veinticuatro genotipos de papa expuestos a una temperatura de 38°C por 48 horas.

Tabla Resumen Fuga de Electrolitos			
Genotipo	Indice de Daño	Dev	Error Standard
Estela	0,497	4,484	1,585508003
Josefina	7,326	9,104	3,218596079
Libertad	7,888	1,935	0,684213566
Natividad	5,654	2,374	0,8392468
Puca Shungo	-4,431	1,913	0,676385569
Super Chola	1,033	4,221	1,492209819
Victoria	19,973	9,092	3,214393692
Yana Shungo	2,370	7,248	2,562646277
07-32-15	35,203	17,666	6,245745019
07-40-1	17,259	5,397	1,908179333
07-46-8	28,226	24,653	8,716174042
12-4-45	1,416	1,870	0,661028965
12-4-72	3,997	2,575	0,910269149
12-4-145	2,903	3,041	1,075245035
12-6-29	9,656	17,775	6,284381326
380496,2	2,470	6,794	2,402148394
399002,52	1,830	1,776	0,628075445
399062-115	3,788	3,682	1,301911878
399075,26	11,110	10,489	3,708448947
399079,27	11,652	3,014	1,065659271
399090,15	0,984	3,827	1,353015813
97-25-3	30,584	10,803	3,819425171
98-2-6	3,656	4,349	1,537465488
98-38-12	3,470	2,667	0,942849866