

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Evaluación del rendimiento y respuestas fisiológicas al estrés de sequía en  
veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*)**

**Proyecto de Investigación**

**Edgar Alexis Corrales Galarza**

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de  
Ingeniero en Agroempresas

Quito, 22 de julio del 2019

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**COLEGIO CIENCIAS E INGENIERÍAS**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Evaluación del rendimiento y respuestas fisiológicas durante el estrés de  
sequía en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*)**

**Proyecto de Investigación**

**Edgar Alexis Corrales Galarza**

Calificación:

Nombre del Profesor, título académico: Antonio León-Reyes; Ph.D.

Firma del profesor:

\_\_\_\_\_

Quito, 22 de julio del 2019

### © 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: Edgar Alexis Corrales Galarza

Código: 00123913

Cédula de Identidad: 1716472988

Lugar y fecha:

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios, y a mi familia: Silvana, Edgar y Anahi por ser un apoyo incondicional durante toda mi carrera y el pilar fundamental de mi vida, también a mi mejor amiga y compañera de vida Sisi.

También agradezco a todas las personas que han sido parte de mi vida universitaria contribuyendo con conocimientos académicos y personales para mi formación, especialmente a mis grandes maestros de Agroempresas: Antonio León, Mario Caviedes y Carlos Ruales.

Un agradecimiento especial a la Universidad San Francisco de Quito y a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) por permitirme formar parte del proyecto con mayor importancia sobre el cultivo de papa frente al cambio climático: “Marker-assisted selection for potato germoplasm adapted to biotic and abiotic stresses caused by global climate change”. Finalmente me queda agradecer a todos los que conformaron el Grupo Papa-USFQ, especialmente a Esteban Espinosa por guiarnos durante todo el proyecto.

## RESUMEN

Las sequías son parte de los factores abióticos que más daño causan en la producción de papa. Entre las soluciones más viables para evitar el daño provocado por sequía es la búsqueda de genotipos con tolerancia a este estrés. En este trabajo de investigación se evaluó la tolerancia o susceptibilidad de veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) bajo condiciones controladas de estrés por sequía. La tolerancia fue determinada a través del rendimiento (Kg/planta) y de su nivel de daño foliar después del estrés por sequía con la utilización de una escala de daño visual. Con esto, se determinó que los genotipos tolerantes fueron: Raymi Papa y 12-4-173. Los medianamente tolerantes fueron: Cecilia, Fripapa, Leona Negra, 11-9-1, 11-9-133 y 11-9-28. Los genotipos susceptibles fueron: 11-8-6, 11-9-106, 11-9-107, 11-9-112, 11-9-150, 11-9-172, 11-9-175, 11-9-27, 11-9-44, 11-9-64, 11-9-66, 11-9-77, 11-9-8, 12-4-37 y 14-9-56. Y los muy susceptibles fueron: Carolina, 11-9-101, 11-9-108 y 11-9-9. Con la clasificación de tolerancia de los veintisiete genotipos se buscó comprender el comportamiento fisiológico que estos tienen, antes y después de ser sometidos a estrés por sequía. Para esto se utilizaron varias mediciones fisiológicas como son: Potencial Hídrico de la Planta, Conductancia Estomática, Fluorescencia del Fotosistema II, Contenido de Clorofila y Contenido de Prolina (proteína). Así mismo se correlacionaron los resultados de los parámetros fisiológicos versus el rendimiento antes y después del estrés por sequía, encontrando valores no significativos entre estos. Sin embargo el valor de  $R^2$  de 0,8 obtenido por la correlación entre el rendimiento antes del estrés versus el rendimiento después del estrés si es significativo; concluyendo que las variedades que más producen en condiciones sin estrés, también producen más en condiciones de estrés por sequía.

*Palabras clave: Sequía, Nivel de daño Foliar, Parámetros Fisiológicos, Rendimiento, Tolerancia*

## ABSTRACT

Droughts are part of the abiotic factors that cause the most damage in potato production. Among the most viable solutions to avoid the damage caused by drought is the search for genotypes with tolerance to this stress. In this research work the tolerance or susceptibility of twenty-seven potato genotypes (*Solanum tuberosum*) under controlled conditions of drought stress was evaluated. The tolerance was determined through yield (Kg / plant) and its level of leaf damage after drought stress with the use of a scale of visual damage. With this, it was determined that the tolerant genotypes were: Raymi Papa and 12-4-173. The moderately tolerant ones were: Cecilia, Fri papa, Leona Negra, 11-9-1, 11-9-133 and 11-9-28. The susceptible genotypes were: 11-8-6, 11-9-106, 11-9-107, 11-9-112, 11-9-150, 11-9-172, 11-9-175, 11-9-27, 11-9-44, 11-9-64, 11-9-66, 11-9-77, 11-9-8, 12-4-37 and 14-9-56. And the very susceptible were: Carolina, 11-9-101, 11-9-108 and 11-9-9. With the classification of tolerance of the twenty-seven genotypes, we sought to understand the physiological behavior they have, before and after being subjected to stress due to drought. For this, several physiological measurements were used, such as: Plant Hydric Potential, Stomatal Conductance, Photosystem II Fluorescence, Chlorophyll Content and Proline Content (protein). Likewise, the results of physiological parameters versus performance before and after stress for drought were correlated, finding non-significant values among them. However, the R<sup>2</sup> value of 0.8 obtained by the correlation between performance before stress versus performance after stress is significant; concluding that the varieties that produce the most under stress-free conditions also produce more under conditions of drought stress.

*Keywords: Drought, Foliar damage level, Physiological Parameters, Performance, Tolerance*

## Tabla de contenido

<b>I.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>13</b>
	<b>A. Descripción .....</b>	<b>13</b>
	<b>B. Importancia mundial del cultivo.....</b>	<b>14</b>
	<b>C. Importancia del cultivo en el Ecuador.....</b>	<b>16</b>
	<b>D. Diversidad genética .....</b>	<b>18</b>
	<b>E. Factores bióticos .....</b>	<b>18</b>
	<b>F. Factores abióticos.....</b>	<b>19</b>
	1. Fotoperíodo.....	20
	2. Temperatura.....	20
	3. Suelo.....	22
	<b>G. Requerimiento hídrico (estrés de sequía) .....</b>	<b>23</b>
	1. Definición .....	23
	2. Daños causados por sequías en papa.....	23
	3. Metodologías para evaluar el contenido de agua en el suelo.....	24
	4. Métodos para evaluar la tolerancia o susceptibilidad de los genotipos después del daño por sequía.....	25
	5. Métodos para cuantificar los parámetros fisiológicos después del daño por sequía .....	26
	<b>H. Cambio climático en la producción de papa.....</b>	<b>29</b>
<b>II.</b>	<b>Justificación .....</b>	<b>31</b>
<b>III.</b>	<b>Objetivo General .....</b>	<b>34</b>
<b>IV.</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>34</b>
<b>V.</b>	<b>Hipótesis.....</b>	<b>34</b>

<b>VI.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>35</b>
<b>A.</b>	<b>Material vegetal .....</b>	<b>35</b>
<b>B.</b>	<b>Localización del estudio .....</b>	<b>36</b>
<b>C.</b>	<b>Material de siembra .....</b>	<b>36</b>
<b>D.</b>	<b>Manejo del cultivo (riego, nutrición y fumigación) .....</b>	<b>36</b>
<b>E.</b>	<b>Condiciones del experimento .....</b>	<b>37</b>
1.	Etapa fenológica .....	37
2.	Exposición a sequía y recuperación .....	38
<b>F.</b>	<b>Metodología de evaluación .....</b>	<b>39</b>
1.	Contenido volumétrico de agua en el suelo .....	39
2.	Rendimiento obtenido .....	40
3.	Daño foliar mediante escala de daño visual .....	40
4.	Contenido de prolina .....	41
5.	Conductancia estomática .....	44
6.	Fluorescencia de la clorofila .....	44
7.	Contenido de clorofila .....	45
8.	Potencial hídrico .....	45
<b>VII.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>46</b>
<b>A.</b>	<b>Contenido volumétrico en tratamiento a capacidad de campo .....</b>	<b>46</b>
<b>B.</b>	<b>Porcentaje relativo de contenido volumétrico de agua en el suelo antes y después de sequía. ....</b>	<b>47</b>
<b>C.</b>	<b>Rendimiento por planta antes y después de sequía. ....</b>	<b>48</b>
1.	Producción sin estrés .....	48
2.	Producción de tubérculos de papa (kg por planta) con estrés de sequía. ....	49

3.	Porcentaje relativo de producción de tubérculos de papa antes y después del estrés de sequía	50
<b>D.</b>	<b>Evaluación del daño foliar mediante escala de daño visual</b>	<b>51</b>
1.	Nivel de daño foliar después del estrés de sequía en veintisiete genotipos de papa	51
2.	Nivel de daño foliar en recuperación de los 27 genotipos de papa	53
<b>E.</b>	<b>Valoración de la tolerancia o susceptibilidad de los veintisiete genotipos</b>	<b>55</b>
<b>F.</b>	<b>Evaluación del contenido de prolina</b>	<b>58</b>
1.	Contenido de prolina sin estrés	58
2.	Contenido de prolina después de sequía	59
<b>G.</b>	<b>Evaluación de la conductancia estomática</b>	<b>60</b>
1.	Conductancia estomática sin estrés	60
2.	Conductancia estomática relativa después de sequía	61
<b>H.</b>	<b>Evaluación de la fluorescencia de clorofila</b>	<b>62</b>
1.	Fluorescencia de clorofila sin estrés	62
2.	Fluorescencia relativa de clorofila después de sequía	63
<b>I.</b>	<b>Evaluación del contenido de clorofila</b>	<b>64</b>
1.	Contenido de clorofila sin estrés	64
2.	Contenido relativo de clorofila después de sequía	65
<b>J.</b>	<b>Evaluación del potencial hídrico en papa</b>	<b>65</b>
1.	Potencial hídrico sin estrés	65
2.	Potencial hídrico después de sequía	66
<b>K.</b>	<b>Correlaciones entre las variables de rendimiento y las fisiológicas</b>	<b>67</b>
<b>VIII.</b>	<b>Discusión</b>	<b>69</b>
<b>A.</b>	<b>Evaluación de las condiciones del tratamiento de sequía</b>	<b>69</b>
<b>B.</b>	<b>Evaluación del daño foliar y el rendimiento en sequía</b>	<b>70</b>

C.	Evaluación de las respuestas fisiológicas del cultivo de papa en sequía .....	71
IX.	Conclusiones .....	73
X.	Recomendaciones .....	74
XI.	Bibliografía.....	75
XII.	Anexos .....	85

## Índice de Tablas

Tabla 1: División de bloques y genotipos de trabajo.....	35
Tabla 2: Escala de Daño Visual .....	41
Tabla 3: Ponderación usada para Rendimiento.....	56
Tabla 4: Ponderación usada para Escala de Daño Visual (Sequía) .....	56
Tabla 5: Valoración en los veintisiete genotipos de papa mediante rendimiento y escala de daño visual. ...	57
Tabla 6: Correlaciones de parametros fisiológicos versus producción de tubérculos con y sin estrés de sequía .....	69
Tabla 8: Contenido volumétrico de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía.....	85
Tabla 9: Conductancia estomática de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía .....	86
Tabla 10: Fluorescencia de la clorofila de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía .....	87
Tabla 11: Contenido de clorofila de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía .....	88
Tabla 12: Potencial hídrico de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía .....	89
Tabla 13: Contenido de prolina de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía .....	90
Tabla 14: Resiliencia de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía.....	91

## Índice de Figuras

Figura 1: Contenido volumétrico en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) sin sequía. _____	46
Figura 2: Porcentaje relativo de contenido volumétrico de agua en el suelo en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) antes y después de sequía. _____	47
Figura 3: Producción en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) sin tratamiento de sequía. _	48
Figura 4: Producción de tubérculos en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) después del tratamiento de sequía. _____	49
Figura 5: Porcentaje relativo de producción en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) después de sequía. _____	50
Figura 6: Nivel de daño foliar por estrés de sequía, usando la metodología de escala visual. _____	52
Figura 9: Índice de recuperación determinado por escala visual en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ). _____	55
Figura 10: Contenido de prolina en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) sin sequía. _____	58
Figura 11: Contenido de prolina en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) después de sequía. _____	59
Figura 12: Conductancia estomática en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) sin sequía _	60
Figura 13: Porcentaje relativo de apertura estomática en 27 genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) después de sequía. _____	61
Figura 14: Fluorescencia de clorofila ( $f_v/o$ ) en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) sin sequía. _____	62
Figura 15: Porcentaje relativo de fluorescencia envVeintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) después de sequía. _____	63
Figura 16: Contenido de clorofila en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) sin sequía. _____	64
Figura 17: Porcentaje relativo del contenido de clorofila en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) después de sequía. _____	65
Figura 18: Potencial hídrico en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) sin sequía. _____	66
Figura 19: Potencial hídrico en veintisiete genotipos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) después de sequía. _	67

## I. Introducción

### A. Descripción

La papa (*Solanum tuberosum*) es una dicotiledónea herbácea, su forma de desarrollo o crecimiento es a través del suelo (rastrera) o de forma paralela al mismo (erecta), los tallos pueden ser aéreos, circulares o angulares en sección transversal, la distancia de los entrenudos es corta. Dependiendo de la variedad o genotipo encontraremos la masa foliar y el color variable, pudiendo tener tallos huecos o medulosos, de forma angular y normalmente con la presencia de color verde o morado. Las plantas de papa tienen normalmente una altura entre los 0,60 y 1,60 metros. Las hojas por otra parte están ordenadas de manera alternada a lo largo de la planta, generando así mayor densidad foliar, esto es más notorio en variedades mejoradas. Estas hojas son de tipo compuestas o pinnadas sin embargo en algunos casos las hojas jóvenes pueden encontrarse de tipo simples (Pumisacho y Sherwood, 2002).

La papa fue domesticada en las zonas limítrofes entre Perú y Bolivia, específicamente en el lago Titicaca. Remontándonos a culturas antiguas como la Inca, Tiahuanaco y Nazca, encontramos importante evidencia arqueológica, que prueba el uso y desarrollo de este cultivo. La misma que fue introducida al viejo continente por los españoles en el siglo XVI, y dos siglos después fue difundida rápidamente. Teniendo alcances en prácticamente todo el mundo incluso en el norte de América, llegando a países como Estados Unidos y Canadá (Pumisacho y Sherwood, 2002).

La taxonomía ubica a la papa en la familia de las solanáceas. Todas las variedades comerciales son tetraploides ( $2n=48$ ), estas también son pertenecientes a dos tipos de especies: *Solanum tuberosum* y *Solanum andigenum*. La primera, se describe como una especie con forma larga, corteza lisa, con pulpa de color amarilla y corteza con un color

variable entre rosada y beige; los estolones de esta especie son cortos. Esta especie fue introducida por los españoles en Europa después de la conquista, es aquí donde se domesticó acoplándose a tener un fotoperiodo de días y ciclo cortos; (90 a 100 días). La segunda especie mencionada (*Solanum andigenum*) se describe con un color de pulpa variable entre blanca y amarilla y una corteza con diferentes tipos de colores (morada, roja, blanca, negra o una mezcla de estas). Esta especie es de días largos, ciclo tardío. Las variedades que se derivan de esta especie han perdido el valor comercial, por lo que se cultivan únicamente en los países de Sur América, de donde son originarias, es por esto que con el objetivo de conservar estas variedades ancestrales se ha incentivado la investigación, desarrollo y reproducción de las mismas (Román y Hurtado, 2002).

Se entiende que la papa es objeto de interés y estudio para la comunidad científica, por todo lo que representa para la alimentación de los seres humanos. También por haberse convertido en uno de los principales alimentos a nivel mundial en los últimos años, este cultivo a sido causa de amplia discusión e investigación generando debate sobre su mejoramiento (Rodríguez, 2010).

## **B. Importancia mundial del cultivo**

El cultivo de papa ha dado un giro en su forma de consumo a nivel mundial especialmente en los países ya desarrollados, pues la demanda de este producto ha pasado del consumo de tubérculo, a su industrialización y posterior comercialización. Según la FAO (2019) la producción mundial de este cultivo en el año 2017 fue de 388 millones de toneladas reportando un incremento del 3% aproximadamente con respecto al 2016. El rendimiento promedio mundial en el 2017 fue de 20 toneladas/hectárea y el área cosechada

en todo el mundo ascendió un 2% en este mismo año, en relación con su año anterior (2016), de 190 a 193 millones de hectáreas aproximadamente.

Prácticamente el 60% de la producción mundial de papa está representada por 6 países, China con una participación del 25%, seguido por India con el 12%, Rusia con 8,2%, Ucrania con 6,2%, EEUU con 5,2%, y Alemania con 3%. El 40% restante se distribuye entre más de 100 países. La producción total de los países de Sudamérica se ubica entre 8 y 8,5 millones de toneladas, participando en el total mundial con solamente el 2,2%. Brasil lidera la región con el 44,4% seguido por Argentina 22,4%, Chile 12,8%, Bolivia 13,3%, Venezuela 6,1% y bastante diferenciados Uruguay 1,1% y Paraguay que a pesar de haber tenido un importante crecimiento en los últimos años, tan solo llega al 0,04 % (FAO, 2008).

Los índices de crecimiento de producción del cultivo son variables entre los países en vías de desarrollo y los ya desarrollados. Si comparamos la producción entre estos, encontramos que los países de primer mundo, específicamente en Europa, con una producción de 13 toneladas por hectárea (FAO, 2019) ha disminuido un 1 por ciento la producción de papa en los últimos 20 años. Por otra parte, en los países en vías de desarrollo se registra un incremento aproximado de 5 por ciento anual en la producción de dicho cultivo (Prakash, 2008).

A pesar de que este cultivo tiene como origen la región de Sudamérica, vemos que los continentes de Europa y Asia han logrado maximizar su producción, llegando a liderar la misma. Asia es el mayor productor, reportando 195 millones de toneladas en el año 2017 teniendo un 76% más de producción que el continente americano, de donde se reporta el origen del cultivo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esta estadística está influenciada directamente por sus poblaciones (FAO, 2008). Ahora, si comparamos el rendimiento

promedio de los dos continentes encontramos que Asia tiene un aproximado de 19 toneladas/hectárea versus las 18 toneladas/hectárea que reporta Sudamérica. Ecuador específicamente reportó una producción de 377.243 toneladas en el 2017 (FAO, 2019).

### **C. Importancia del cultivo en el Ecuador**

El cultivo de papa se encuentra dentro de las principales actividades agrícolas realizadas en la sierra andina del Ecuador debido a su importancia económica y también a su presencia en la dieta diaria de la población. El Centro Internacional de la Papa (CIP), confirma que en el 2017 en el Ecuador cada persona tuvo un consumo promedio de 24 kilos de papa en el año; Según reportes del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (MAGAP), la papa forma parte de los tres cultivos transitorios más importantes de la nación junto con el maíz y el arroz (Torres, 2017).

Los últimos años el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y MAGAP ha realizado minuciosos programas de mejoramiento de producción de este cultivo, a través de programas y charlas de capacitación para el pequeño y mediano agricultor. Los resultados que han arrojado han sido muy buenos, pues se reportaron para el año 2018, que la productividad a nivel nacional exhibe un rendimiento promedio de 16,2 ton/ha. El motivo de este alto rendimiento está ligado las recomendaciones dadas a los productores, entre las que destacan la utilización mayoritaria de: uso de semilla mejorada, la mejora en la densidad de siembra con una densidad de siembra de 19,687 plantas por hectárea manejando un peso promedio total de tubérculos de 989 gramos por planta, la forma de aplicación de 2 tubérculos en cada sitio de siembra transformándose esto en un valor aproximado de 10-25 quintales por hectárea de material de siembra y finalmente el uso de una buena fertilización, con valores promedios de: 3 quintales/hectárea de nitrógeno, 5 quintales/hectárea de fosforo y 3 quintales/hectárea de potasio (MAGAP, 2018).

Del total de agricultores en el Ecuador solo el 20% aproximadamente tiene acceso a agua con sistemas de riego. Sin embargo, casi el 90% realizó sistemas mecanizados en manejo de suelo. En la investigación realizada por el MAGAP también se resaltan las provincias con mejores índices de rendimiento las mismas que superan el promedio nacional, siendo las siguientes: Pichincha con 21,2 ton/ha, Carchi con 18,8 ton/ha, Bolívar con 17,9 ton/ha. Por otra parte, la zona de menor productividad está conformada por las provincias de: Sucumbíos, Chimborazo, Cañar, Azuay y Cotopaxi con rendimientos de 1.5, 2.5, 2.8, 6 y 8 toneladas por hectárea respectivamente. Finalmente se indica las variedades más utilizadas para la producción a nivel nacional, estas son: Superchola (62%), Única (8%), Yema de Huevo (5%) y Friepapa (3%), que proporcionan rendimientos promedio de 18, 16, 13 y 20 toneladas por hectárea respectivamente (MAGAP, 2018).

A través de encuestas a los agricultores se ha encontrado la percepción de estos sobre lo que ellos consideran como factores externos que más afectan a la producción de papa, siendo estas: las plagas y/o enfermedades y las sequías (MAGAP, 2018). La plaga que más afecta al agricultor es el tizón tardío (*Phytophthora infestans*); por otro lado están las sequías que causan daños devastadores para los cultivos de papa, pues el día de hoy existe más evidencias de que la frecuencia e intensidad de sequía están aumentando drásticamente como consecuencia del calentamiento global (FAO, 2016). Según Castellanos (2013), en el año 2013 la ausencia de precipitaciones ha llegado a un 72% debajo de lo normal provocando pérdidas totales en algunos cultivos y los pronósticos para los años siguientes se prevé que serán peores.

#### **D. Diversidad genética**

El término diversidad genética hace referencia a la variabilidad hereditaria que existe, ya sea internamente en una población o entre la mezcla de ellas. Estas poblaciones pertenecerán a una determinada familia, género y especie, las características que cada uno de los individuos tenga o adquiera en base a la capacidad de adaptación que necesitara para lidiar con los cambios que se den o se vayan dando en su entorno (Glick y Pasternak, 2010). Todo este proceso se realiza a un nivel cromosómico; lo que sucede específicamente es una serie de recombinaciones genéticas o incluso mutaciones que dan como resultado mejores características adaptativas a la progenie o a las siguientes generaciones (Brack, 2000). La variación genética logra algunos beneficios en los individuos como mejorar su capacidad de adaptación y defensa ante cambios internos (fisiología de la planta) o externos, como factores ambientales (sequía, calor o frío prolongado).

En el cultivo de papa, el número básico de cromosomas para el género *Solanum* es doce. Sin embargo, en las papas silvestres y cultivadas existen diferentes números de ploidía, pueden ser  $2n=2\times=24$ ,  $2n=3\times=36$ ,  $2n=4\times=48$ ,  $2n=5\times=60$ ,  $2n=6\times=72$ . De todas estas, la que tiene mayor relevancia por cuanto al uso que se le da son las especies de nivel tetraploide. (Orillo y Bonierbale, 2009).

#### **E. Factores bióticos**

El cultivo de papa puede tener varios problemas en el ciclo de su desarrollo, los más importantes y de mayor relevancia económica son los factores bióticos y abióticos. Como bien explica Flores en su libro ecología y medio ambiente (2008), los factores bióticos son organismos vivos que influyen o afectan un ecosistema o individuo. En este caso constituyen principalmente: las plagas y las enfermedades. Existen enfermedades y plagas

que pueden causar diferentes tipos de daños en mayor o menor intensidad, desde atacar solamente el aspecto físico de la planta, hasta llegar a la marchitez y/o muerte de la misma, terminando en la mayoría de casos con la pudrición del tubérculo (CIP, 2015).

Para el control de estas plagas o enfermedades existen métodos químicos u orgánicos que actúan ante el ataque de las mismas o de manera preventiva. El manejo de pesticidas químicos y/o orgánicos es muy importante para el control, sin embargo es fundamental que vaya acompañado de un manejo integrado. Así se podrá controlar todo el ciclo del cultivo, se requiere poner atención en toda la fase de desarrollo, pasando por buenas prácticas agrícolas en la preparación del suelo (deshierbe, retape, aporque, etc.) hasta un buen control fitosanitario. Un factor que hoy en día es imprescindible tomarlo en cuenta es el uso de semillas con certificación (Rodríguez, 2013).

#### **F. Factores abióticos**

Para Robles (2009) estos factores son los componentes no vivos de un ecosistema, y que influyen en la vida de otras especies permitiéndoles o no su desarrollo. Pueden llegar a representar grandes pérdidas económicas para el agricultor, es por esto que ha surgido gran interés en la investigación de los mismos. El calentamiento global a maximizado el efecto que tienen los factores abióticos en el desarrollo del cultivo, provocando pérdidas totales en muchos casos (Checa, 2018). Hoy en día los cultivos se ven expuestos a intensos cambios de temperaturas, e inviernos y sequías más prolongadas. A continuación se exponen algunos de los más importantes factores abióticos que influyen la producción de tubérculos.

## **1. Fotoperíodo**

En el Ecuador, el cultivo de papa se desarrolla de mejor manera con rangos de luz entre 8 y 12 horas. A través de la luminosidad del día los fotones inciden directamente en los cloroplastos de las plantas, provocando una serie de reacciones en cadena. Con la utilización del dióxido de carbono y del agua se logra formar algunos tipos de azúcares que servirán para el metabolismo de la planta y de los tubérculos (Román y Hurtado, 2002). Se ha comprobado que la luz tiene una incidencia directa sobre el rendimiento, pues este induce la tuberización. También se describe que los fotoperiodos cortos son más favorables para la tuberización mientras que los largos inducen el crecimiento, es decir influyen directamente el rendimiento. Si bien es cierto la intensidad de luz es crucial para la actividad fotosintética, también es influyente en el ciclo de la floración y fructificación (Román y Hurtado, 2002).

Los fotoperiodos van a variar dependiendo del lugar o región donde se encuentre el cultivo, es así que en las zonas de clima cálido se utilizan cultivares con fotoperiodos muy largos, comprendiendo rangos de luz entre 13 y 16 horas. El fotoperiodo adecuado cambia dependiendo de los requerimientos de la variedad o genotipo y sus necesidades en las diferentes etapas fisiológicas en las que se encuentre (Robles, 2009).

## **2. Temperatura**

Según Fulgueira (2002) las mejores producciones en la región templada se obtienen bajo condiciones de temperaturas entre 15 y 20°C, por esto se direcciona a la región sierra como la mejor opción para el cultivo de papa. Con estas temperaturas se logra maximizar el correcto crecimiento de la planta, también se logra mantener la uniformidad, y una correcta tuberización. Nuestra región esta favorecida debido a su ubicación geográfica; al encontrarse

en el trópico en las tierras altas, la temperatura tiene los rangos adecuados necesarios para la producción del cultivo.

A pesar de necesitar un rango de temperatura óptimo, la papa requiere una variación de 10°C entre la temperatura del día y de la noche, lo que reconoce a este cultivo como una planta de tipo termoperiódico. Cuando la variación de temperatura diurna y nocturna están por debajo de lo recomendado, los tubérculos comienzan a afectarse, reduciendo así el rendimiento y la calidad (Ramón y Hurtado, 2002). Si este problema es constante, el problema se maximiza llegando a afectar la fenología completa del cultivo de papa. La razón de esto es que las altas temperaturas del día ayudan al desarrollo de los tallos y hojas de la planta; mientras que las temperaturas bajas ayudan al desarrollo de los tubérculos (Criollo, 2018). La temperatura es influyente también en la brotación de semillas, por ende trabaja en conjunto con la absorción de nutrientes y agua en las diferentes edades fisiológicas (Román y Hurtado, 2002)

Las temperaturas que más afectan al cultivo son el frío intenso y por un periodo largo, esto trae problemas al tubérculo provocando un desarrollo muy lento e incluso enanismo. Este conflicto viene de la mano de las heladas; la papa es muy sensible a heladas tardías las cuales provocan una disminución en el rendimiento. Cuando las temperaturas descienden a 0°C, ocurre congelamiento de las células y fluidos provocando en muchos casos la muerte de la planta. El riesgo es potencialmente más alto cuando las temperaturas son menores a -2°C. Por otro lado si las temperaturas son muy elevadas, la planta se verá expuesta a la disminución en la producción, el calor intenso también favorece la reproducción y hospedaje de plagas y enfermedades. La mejor alternativa para controlar temperaturas elevadas es el uso de variedades resistentes y un correcto manejo de agua riego. También existen

recomendaciones en el ciclo del cultivo como por ejemplo, sembrar en las épocas con menores temperaturas (Robles, 2009).

### **3. Suelo**

Según Betina (2010), las condiciones edáficas son las más importantes a tomar en cuenta para el desarrollo de un cultivo, pues es aquí donde el sistema radicular va a crecer y obtener los nutrientes necesarios para la planta. La parte edáfica considera los factores ambientales relacionados con el suelo como la composición física, química y biológica del mismo. En el caso específico de la papa, es una planta que no tiene gran exigencia a las condiciones del suelo. Las recomendaciones son no cultivar en terrenos que no exista aireación, es decir que no haya compactación y evitar lotes con exceso de piedra para que el sistema radicular pueda desarrollarse correctamente sin impedimentos; en cuanto a su composición, la planta necesita suelos ligeros silíceo-arcillosos, se recomienda agregar humus a estas tierras.

Una de las principales condiciones que debe reunir el suelo es: humedad suficiente para la planta; sin embargo se reportan variedades con adaptabilidad a la aridez. Normalmente la aridez trae consigo un enraizamiento muy largo, provocando una disminución en la producción de tubérculos. Por otro lado si los terrenos tienen exceso de humedad trae consecuencias como: la pudrición del tubérculo y la infección con hongos u otras enfermedades, el encharcamiento también afecta al lado comercial afectando al sabor del producto. Se recomienda una temperatura del suelo por arriba de los 6°C al momento de la siembra y un pH con un rango entre 5,5 y 6 (Robles, 2009).

## **G. Requerimiento hídrico (estrés de sequía)**

### **1. Definición**

Según el Centro Internacional de la Papa (2019), la sequía es el déficit de lluvias por un período de tiempo extenso. Este tiempo es variable dependiendo del cultivo y de su requerimiento hídrico. La falta de lluvia provoca una reducción del agua disponible para las plantas y para sus procesos metabólicos. Esto desencadena problemas serios en la agricultura ocasionando pérdidas totales, y traduciéndose en problemas como inseguridad alimentaria, hambrunas, desnutrición e incluso migraciones poblacionales (ONU, 2017). El déficit hídrico puede considerarse el estrés abiótico más limitante en la producción de tubérculos debido a que el sistema radicular de la planta llega hasta aproximadamente 50 centímetros de profundidad, limitándose así solamente a la absorción de agua de las capas superficiales del suelo, donde la sequía afecta con mayor intensidad (CIP, 2014). Es una planta que no tendrá la capacidad de absorber agua de las partes o capas más profundas.

### **2. Daños causados por sequías en papa**

Según Bolívar (2012) la falta de agua en agricultura incide directamente en rendimientos y en producción, provocando pérdidas totales para el pequeño, mediano y gran agricultor. El déficit hídrico en el cultivo provoca varias afecciones, como la reducción significativa del crecimiento de la planta debido a su inhibición en la expansión celular. Cuando las células no están correctamente hidratadas la planta pierde turgencia, evitando el crecimiento de todo el sistema (raíz, tallo, hojas, flores) (INIA, 2014). Según el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria (2014) se espera que países de alta población como son Estados Unidos, Rusia, China e India podrían verse altamente afectados por las sequías provocadas por el calentamiento global reduciendo en hasta un 30% el rendimiento de sus cultivos. Hoy en día el mejor método para controlar este problema, es el

uso de agua de riego; según el Programa Medioambiental de Naciones Unidas (2012) el agua de riego en agricultura representa el 70% del agua utilizada a nivel mundial.

Los problemas provocados por las sequías han generado interés en la comunidad científica de todo el mundo, se ha encontrado que las sequías han aumentado su intensidad junto con el calentamiento global; a medida que avanza el uno, el otro también se intensifica, provocando daños en el sistema agrícola (Monsanto, 2018). Sin embargo se han demostrado factores relacionados con la tolerancia a sequía, por ejemplo se reporta la relación entre la biomasa de raíz y tallo. En papa se presentan a las variedades que poseen mejores rendimientos y un bajo déficit hídrico con un crecimiento radicular superior al de las variedades que no son tolerantes (Barrios, 2014). Por lo mencionado anteriormente, se ha encontrado como la mejor solución y la más rápida, el desarrollo de variedades más eficientes en la absorción, retención y aprovechamiento de agua. Con esto se logrará, evitar pérdidas y así mantener o incluso mejorar los rendimientos actuales en vistas a los problemas ocasionados por el déficit hídrico (INIA, 2014).

### **3. Metodologías para evaluar el contenido de agua en el suelo**

#### **Contenido volumétrico**

En escenarios de sequía, valorar y cuantificar el balance hídrico (suelo-planta) es fundamental para establecer el estado de los cultivos y poder tomar decisiones (Ferrer, 2019). Para la cuantificación del contenido volumétrico en suelo se puede utilizar el equipo PROCHECK-GS3, que además mide la temperatura y la conductividad eléctrica de forma independiente. En un suelo anegado de agua, los valores máximos de contenido volumétrico de agua son de  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3$  y en situaciones de sequía el suelo puede llegar a  $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

#### **4. Métodos para evaluar la tolerancia o susceptibilidad de los genotipos después del daño por sequía**

##### **a) Rendimiento**

El rendimiento es el parámetro asociado a la tolerancia de un cultivo, así lo explica Gomez (2012) quien dice: los datos de rendimiento son buenos índices para identificar los niveles de tolerancia de variedades frente a un déficit hídrico. La papa es muy sensible al déficit hídrico, esta escases de agua puede traducirse en menor rendimiento de tubérculos, en cantidad y en calidad (tamaño y peso) y a su vez esto significa un impacto en la economía del agricultor (FAO, 2012). Por esto es necesario contabilizar la producción neta de cada genotipo después de ser sometidos a un estrés, logrando datos más específicos como: kilogramos por planta por genotipo.

##### **b) Daño foliar**

El daño foliar según Moreno (2009) es importante y un buen índice para determinar el daño de un cultivo, tomando en cuenta que la papa es sensible a un déficit hídrico su aspecto foliar lo es también. La tolerancia se demuestra también con la resistencia y aspecto físico de la planta ante un estrés; si una planta es más turgente y con una área foliar más grande tendrá mejor capacidad fotosintética y de esta manera podrá realizar correctamente sus procesos metabólicos y fisiológicos (Díaz y Borsani, 2008). Para cuantificar el daño foliar usamos la tabla propuesta por Bamberg y Vega (1995), la misma que califica el daño foliar en un rango de 1 a 9 en base a su porcentaje de área foliar turgente que puede ser de 0 a 90% respectivamente; así mismo cada valor tiene una descripción de los síntomas en base a su calificación del nivel de daño obtenido.

## **5. Métodos para cuantificar los parámetros fisiológicos después del daño por sequía**

### **a) Contenido de prolina**

Las plantas tienen diferentes tipos de respuestas frente al déficit hídrico o estrés osmótico, una de las consecuencias más comunes es la acumulación de la proteína prolina (Díaz y Borsani, 2018). Bacallao y Fundora (2014) reportan que el contenido de prolina está relacionado con el estrés de sequía al que se ve sometida una planta, y confirman que a mayor contenido de prolina, la planta tiene un déficit hídrico más alto (más estresada). Gonzaga (2014) por otra parte indica las funciones de esta proteína dentro de una planta, como por ejemplo: mantener el trabajo de la fotosíntesis a pesar de condiciones adversas, eleva el porcentaje de germinación del grano de polen, favorece la apertura estomática. Sin embargo el autor resalta dos funciones: equilibrar el estado hídrico de la planta y la acumulación (se eleva) de la misma en tensiones ambientales, llegando a elevar hasta 25 veces más su cantidad inicial.

### **b) Conductancia estomática**

La conductancia estomática es muy importante para valorar el déficit hídrico del material vegetal, así como el estado energético y las acciones relacionadas con la fotosíntesis. El porómetro utilizado es el de tipo SC-1 que mide la presión ejercida por el flujo de vapor del material vegetal entre dos puntos (Ferrer, 2019). Según la publicación realizada por Perez y Garcia (2010) las plantas con un estrés de sequía más alto tienen índices de apertura estomática más bajos. El autor Obando (2016), también reporta que valores de apertura estomática altos indican mayor tasa de transpiración, esto está relacionado con mayor pérdida de agua. Por otra parte valores bajos representan una menor tasa de

transpiración traduciéndose en retención de agua por parte de la planta; como sistema de defensa por un estrés de sequía. Sin embargo este comportamiento puede ser variable dependiendo del genotipo.

### **c) Fluorescencia de la clorofila**

Según Suancha (2015) la fluorescencia es empleada como una herramienta para obtener información de la influencia que puede tener un estrés sobre el estado fisiológico del cultivo, específicamente del aparato fotosintético de las plantas; según el autor, cuando una planta se encuentra en estrés deja de realizar de manera normal sus actividades fotosintéticas por lo que se puede determinar el grado de estrés en base a la alteración que la planta y el aparato fotosintético han recibido.

Para medir la fluorescencia de la clorofila se utilizó el fluorímetro OS30P+OPTI-SCIENCES INC, según Baker (2004) este equipo es el más utilizado en todo el mundo, por su alta eficiencia y fácil manejo. Este equipo mide la intensidad y la distribución de longitudes de onda del espectro de emisión después de la excitación por un espectro de luz arrojando valores en términos de FV/M y FV/O (Hernandez, 2002). Un tratamiento de estrés por sequía afecta en gran proporción la actividad del Fotosistema II es así pues Jimenez (2003) reporta que radiaciones más intensas se traducen en el descenso de la actividad del fotosistema II reduciendo los datos reportados por el fluorímetro en FV/O y FV/M.

### **d) Contenido de clorofila**

Barrios (2008) dice que una planta con mayor contenido de clorofila está con un tejido vegetal en mejor estado, por lo que realizara sus actividades fotosintéticas de manera más eficiente. Es decir las plantas con valores bajos de contenido de clorofila pueden relacionarse con mayor daño y menor tolerancia al estrés de sequía. La concentración de

clorofila es una variable dependiente del estado del tejido de la planta (Aguilar y Peña, 2006). Para la toma de valores en este parámetro se utilizó el equipo SPAD-502 Plus que determina la cantidad de clorofila relativa en una sección de la hoja a través de longitudes de onda entre los puntos de este espacio, este equipo valora la absorbancia que tiene la hoja en la sección de luz roja e infrarroja, de esta manera proporcionará datos cuantitativos proporcionales al contenido de clorofila en la muestra vegetal (Iberica, 2019).

#### **e) Potencial hídrico**

Según Graff (2004) el potencial hídrico es la magnitud expresada en bar, empleada para medir el estado de energía libre del agua, es decir ver su capacidad para moverse en un sistema en particular. Para la autora es importante medir este parámetro pues nos indica la capacidad que tiene la planta para intercambiar agua con el suelo, esto a su vez nos indica la absorción de nutrientes que puede tener la planta.

La cámara de Scholander es el equipo más utilizado para medir el potencial hídrico de las plantas. Esta es una bomba a presión que determina el potencial xilemático de la muestra vegetal, lo que se traduce en el estado hídrico de la planta; a medida que disminuye la presión el contenido de humedad aumenta (Rodríguez, 2019). Este equipo puede trabajar hasta presiones de 100 bar, y tiene un rango de trabajo entre 0,5 y 12 milímetros de diámetro para la muestra vegetal o rama (Camacho, 2017). Según Ovalle (2013), cuando una planta está sometida a mayor estrés, su actividad fotosintética disminuirá y con ellos los otros procesos fisiológicos, por lo tanto un método efectivo para determinar el estrés es la cámara de Scholander que relaciona los valores más altos con una planta más estresada pues se requiere de mayor presión para extraer agua del tejido, ya que tiene contenidos bajos de la misma.

## H. Cambio climático en la producción de papa

El cambio climático representa todo tipo de cambio de orden natural provocado por los seres humanos (Escusa, 2016). Para el grupo GREENPEACE (2019), esta representa la amenaza potencial más grande a la que se ha enfrentado la humanidad por todas las consecuencias que implica. El sector agrícola está inmerso con este problema pues es altamente vulnerable al incremento de temperaturas, que termina con la disminución de producción y el rendimiento, además de promover el desarrollo de plantas competidoras o malas yerbas. Según la FAO (2016), los países más afectados son los que están en vías de desarrollo debido a que aproximadamente la mitad de la población considerada económicamente activa, depende de la producción agrícola para su subsistencia y la de sus familias. Tomando en cuenta que hasta el 2005 en estas regiones casi el 70% de personas vivían en zonas rurales, las cuales se dedicaban a la agricultura o ganadería.

El cultivo de papa en Ecuador se ve afectado por los cambios estacionales que se han venido dando los últimos años entre verano e invierno, donde se han visto veranos más prolongados e intensos (Bolívar, 2012). Estos cambios en los periodos de lluvia provocan cambios en los ciclos del cultivo, retrasando la época de cosecha y alargando así los ciclos productivos por año. En casos más severos, provoca la pérdida total del cultivo por el déficit hídrico que adquiere la planta, pues evita el correcto funcionamiento del metabolismo y de los procesos fisiológicos (Gerald et al, 2009).

Este problema mundial preocupa a la comunidad científica, debido a que las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo de manera óptima, se han visto afectadas (IPCC, 2007). Alonso (2014) enumera los factores externos que más afectan la producción de papa por el calentamiento global:

- Temperatura: Se espera que las temperaturas suban entre 1 y 6,5 ° C en los próximos 46 años. Prediciendo así que en zonas que actualmente ya son de clima caliente para la producción de papa, en un futuro no podrán cultivar más.
- Incremento de plagas y enfermedades: Existen insectos o enfermedades que no resisten los climas fríos en los que la papa se desarrolla, sin embargo con el incremento de temperaturas, el cultivo se verá expuesto a nuevos problemas patológicos.
- Suministro de Agua: Es un factor que hoy en día ya están viviendo los agricultores, son las extensas sequías, evitando suministrar la cantidad de agua necesaria por determinada variedad.
- Incremento de CO<sub>2</sub> en la atmosfera: La acumulación de CO<sub>2</sub>, es cada vez mayor con el calentamiento global, esto provoca reducción en las tasas de desarrollo de los cultivos de papa.

El Instituto de investigación sobre política alimentaria internacional (IFPRI) (2009) analizó el impacto del cambio climático sobre la producción agrícola. Dando como resultado tres factores que se suman a la lista anterior:

- 1.Las funciones biológicas/fisiológicas de las plantas varían influyendo así en el rendimiento.
- 2.El impacto sobre los precios de los productos agrícolas, por el déficit de producto en épocas de extrema sequía o inundaciones.
- 3.El déficit nutricional en los niños, especialmente en países en vías de desarrollo

Con todos estos factores en contra de la producción normal del cultivo, se estima que en los próximos 50 años habrá una reducción drástica en el rendimiento de tubérculos llegando hasta una disminución del 32% para todas las variedades que no estén

correctamente adaptadas. Sin embargo, la pérdida en rendimiento puede reducirse a casi 10% si se usase variedades adaptadas a estas condiciones (Cuesta et al., 2002).

## II. Justificación

La papa (*Solanum tuberosum*), es de gran importancia en la región interandina, debido a que constituye una de las fuentes vegetales con mejores aportes nutricionales. El contenido de proteínas, grasas y carbohidratos que tiene es muy grande en relación con otros tubérculos, e incluso cereales o raíces. Cultivos con estas características hacen que sea esencial su consumo (Suquilanda, 2011). Por este motivo en el Ecuador, la papa representa un 7% de la canasta básica popular, entendiendo así que está al alcance de todas las clases sociales (MAGAP, 2013).

Según el INEC (2016) en su último censo reportó que Ecuador destina un 0,5% de su territorio agrícola total para la producción de papa, dando un aproximado de 50.000 hectáreas. Es una actividad muy importante a nivel nacional pues involucra a casi un 11% del total de agricultores del país, con un aproximado de 90 mil productores (INEC, 2016). Zurita y Jiménez (2013) mencionan la importancia que tienen los pequeños agricultores de papa pues representan el 50% de la producción total, estos tienen producciones en un espacio menor a dos hectáreas. El MAGAP (2013) dice que este cultivo represento aproximadamente el 5% del total del PIB agrícola, generando de manera directa o indirecta un total de 85 mil fuentes de trabajo.

Por la importancia que tiene este cultivo, existe preocupación por los cambios estacionales que se han venido dando debido al cambio climático. En Ecuador y el mundo, son cada vez más repetitivos los reportes por parte de los agricultores sobre el exceso de sequía a la que se ven sometidos los cultivos de papa, así mismo, por los cambios en la

reducción e intensidad de precipitaciones (Alonso, 2014). Cada año las temporadas de sequía rompe records en todo el mundo, provocando consecuencias fatales para la cadena de producción agrícola (Schwartz, 2018). En algunas zonas del mundo, la cantidad de meses de sequía aumentó en un 49% en un periodo de 33 años (1980-2013) provocando pérdidas agronómicas de hasta el 90% de su producción y con proyecciones más devastadoras todavía para el futuro (Schwartz, 2018).

Las opciones por las que han optado los agricultores ante el inminente avance del calentamiento global y con este las prolongadas épocas de sequía, han sido la limitación de siembra para ciertas épocas en el año, altas inversiones en sistemas de riego que puedan reducir los efectos de déficit hídrico e incluso la deserción en el trabajo o la actividad agrícola. Este problema va creciendo exponencialmente todos los años y con este, el interés por la investigación y desarrollo de posibles alternativas que ayuden a reducir el impacto.

La alternativa más viable es la búsqueda y desarrollo de variedades que resistan estos cambios medioambientales; lo que se conoce sobre la tolerancia a sequías en variedades o genotipos de papa no ha sido estudiada con prioridad, por lo que hay carencia de información en este campo. Para investigaciones de este tipo, se debe tener en claro cuáles son los factores relacionados con la tolerancia. El Instituto de Investigación Nacional Agraria de Chile (2014) ha encontrado que algunos rasgos fisiológicos están relacionados directamente con la tolerancia o susceptibilidad, a través de los cuales se puede trabajar para encontrar posibles candidatos a un mejoramiento genético del cultivo. En Ecuador se reportan ciertos genotipos con tolerancia a diferentes tipos de estrés. Por este motivo, es fundamental hacer un análisis más profundo para evaluar los diferentes genotipos y así poder clasificarlos en base a su tolerancia.

Esta investigación busca aportar con importante información sobre la tolerancia o susceptibilidad que tenga el cultivo de papa al estrés de sequía. Información que será valiosa para la comunidad científica y para los agricultores en general, abriendo así las puertas a futuros estudios y al aprovechamiento de los resultados generados. Este aporte forma parte de la investigación dirigida y financiada por Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), a través del proyecto “Marker- assisted selection for potato germoplasm adapted to biotic and abiotic stresses caused by global climate change”. En particular, este estudio se centra en evaluar la tolerancia o susceptibilidad a sequía en condiciones controladas de veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) en base a su rendimiento y mediante la evaluación del daño usando una escala de daño visual. Así mismo, ayuda a entender el comportamiento fisiológico de las plantas a través de las siguientes metodologías: potencial hídrico de la planta, conductancia estomática, fluorescencia del fotosistema 2, contenido de clorofila y contenido de prolina (proteína).

### **III. Objetivo General**

Evaluar el rendimiento y las respuestas fisiológicas causadas por el estrés de sequía en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*).

### **IV. Objetivos Específicos**

- Obtener y propagar el material vegetal de 27 genotipos de papa para los ensayos de sequía.
- Estimar el nivel de daño foliar antes y después del estrés de sequía y posterior recuperación hídrica.
- Valorar el rendimiento de los genotipos sometidos al estrés de sequía.
- Evaluar las respuestas fisiológicas a través de las variables: Potencial Hídrico, Conductancia Estomática, Fluorescencia, Contenido de Clorofila y Contenido de Prolina del material vegetal antes y después de ser sometidas al estrés de sequía.
- Seleccionar los genotipos que demuestran mejor tolerancia a la sequía

### **V. Hipótesis**

Un estrés inducido de sequía bajo condiciones controladas causara diferente nivel de daño en los veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*).

## VI. Metodología

### A. Material vegetal

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) proveyó la semilla de los 27 genotipos, sin embargo fue necesario reproducirlas previo a los ensayos. La propagación se hizo en la Hacienda el Prado en Machachi y antes de la siembra se hizo una clasificación de los tubérculos por su tamaño (grande, mediano, pequeño y semilla).

El trabajo se realizó en tres bloques distintos, los mismos que se agruparon y homogenizaron en base a su poder germinativo, capacidad de tuberización y ciclo de crecimiento. La tabla 1 nos indica los veintisiete genotipos que fueron sometidos al estrés de sequía y su agrupación en bloques en base al trabajo realizado:

*Tabla 1: División de bloques y genotipos de trabajo*

<b>División de bloques y genotipos</b>		
<b>Bloque 1</b>	<b>Bloque 2</b>	<b>Bloque 3</b>
Carolina	Raymi Papa	11-9-9
Cecilia	Leona Negra	14-9-150
11-8-6	Fripapa	12-4-37
11-9-107	11-9-172	11-9-64
11-9-108	12-4-173	14-9-56
11-9-27	11-9-1	11-9-112
11-9-44	11-9-175	11-9-8
11-9-66	11-9-77	
11-9-106	11-9-28	
11-9-101	11-9-133	

## **B. Localización del estudio**

El trabajo se realizó en Machachi en la Hacienda ``El Prado``. Las coordenadas geográficas de la localidad son: -0.591031 (latitud) y -76.630639 (longitud). El lugar es perteneciente al cantón Mejía y en la Provincia de Pichincha. El sitio se encuentra a 3200 metros sobre el nivel del mar. Los cambios estacionales en esta zona se reportan de la siguiente manera: desde septiembre hasta diciembre hay presencia de lluvias. Luego hasta marzo hay un período de sequía. De marzo a junio se reportan las lluvias más fuertes y desde de junio hasta septiembre ocurre el verano y la sequía más intensa (Bonifaz y León, 2018).

## **C. Material de siembra**

Se utilizó tierra negra virgen de páramo proveniente de Papallacta, provincia de Napo situada a 70 kilómetros de Quito. Las fundas que se utilizaron para la siembra tenían una capacidad de 5 litros, las mismas que fueron llenadas con el material de siembra (tierra negra y tubérculos), la disposición de siembra fue: una semilla por cada funda a una profundidad entre 5 y 10 cm. Se sembraron 26 unidades experimentales por cada genotipo, los mismos que iban a ser destinados 13 plantas para control y 13 plantas para ser sometidos a estrés de sequía.

## **D. Manejo del cultivo (riego, nutrición y fumigación)**

Durante la época de desarrollo del cultivo, se regó 2 litros de agua aproximadamente a todas las plantas con lapsos de 3 y 4 veces por semana, dependiendo de la época estacionaria en la que se encontraban. El objetivo fue mantener una humedad adecuada para el crecimiento de la planta simulando condiciones óptimas para el desarrollo de tubérculos.

La fertilización se realizó al momento de la siembra en cada funda, se hizo aplicaciones de aproximadamente 10 gramos por cada planta. Para esto se utilizó fertilizantes completos (15-30-15-5(Mg)) y se completó la nutrición con bioestimulantes y abonos foliares.

Las aplicaciones de pesticidas eran variables en base a la incidencia de plagas y enfermedades relacionadas con la época (lluvias con mayor o menor intensidad) en la que se encontraban las plantas. Así mismo, se realizaron aplicaciones de agroquímicos en las diferentes edades fisiológicas de la planta tomando en cuenta los requerimientos de este cultivo y de esta zona. Por esto se dio prioridad a enfermedades como lancha o tizón tardío provocado por *Phytophthora infestans* y a insectos como pulguilla (*Epitrix spp.*), gusano blanco (*Premnotrypes vorax*) y se trabajó potencialmente contra los posibles vectores de punta morada.

El principal producto usado contra lancha fue Malathion, sin embargo se utilizaron otros fungicidas como: Mancozeb, Clorotalonil, Rival y Eltra. Para el control de insectos se aplicó principalmente: una mezcla de concentrado de ají + jabón potásico y para el control de los posibles vectores de la punta morada se utilizó principalmente: Avermectin y Nemectin; para todos los productos se completó con aplicaciones de *Beauveria* y *Trichoderma*. Hubo una rotación de 2 semanas para la aplicación de un mismo producto.

## **E. Condiciones del experimento**

### **1. Etapa fenológica**

Las plantas que fueron sometidas al estrés tenían 2 meses de edad, en el ciclo fenológico de la planta se identifica como el período de inicio de floración (Pascualini, 2018). Se esperó hasta este momento, pues fue necesario una madurez vegetativa avanzada

(mayor área foliar) para tener buenas muestras de materia vegetal para las diferentes evaluaciones que se realizaron.

## **2. Exposición a sequía y recuperación**

Para el estudio fue necesario la construcción de un invernadero con dimensiones de 8 metros de ancho por 15 metros de largo, teniendo un espacio de trabajo de 120 m<sup>2</sup>. Este invernadero construido con madera y plástico de polietileno de baja densidad sirvió para someter a estrés de sequía a las plantas que se iban a denominar ``plantas en tratamiento``. En este invernadero también se colocó a las plantas de control, sin embargo estas si recibieron agua con frecuencia de 3 y 4 veces por semana.

A través de pruebas piloto y basados en el trabajo de Rojas y Ledent (2014) se determinó que en un rango entre 10 y 20 días las plantas demuestran daños visibles después de haber sido sometidas a un estrés por sequía. Como se mencionó en la tabla 1, Por cuestiones de espacio el experimento se trabajó en tres diferentes tiempos, por lo que el trabajo se dividió en 3 lotes: el primer lote con 10 genotipos, el segundo lote con 10 genotipos y el tercer lote con 7 genotipos (total = 27 genotipos).

Para homogenizar el estado de sequía entre los tres bloques, se utilizó el equipo Pro-Check con el cual determinó el contenido volumétrico de agua en el suelo, este parámetro esta dado en unidades de: m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Cuando al menos el 80% de la población general de plantas de ese bloque dio valores promedio de 0,130 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, se paró el estrés y se evaluó el daño foliar y parámetros fisiológicos. Este valor nos indica que la muestra de suelo ha perdido un 70% de contenido de agua en promedio.

En cada uno de los lotes se cumplió el mismo procedimiento de: exposición al estrés por sequía, recuperación y evaluación, el cual se describe a continuación:

- Se introdujeron 13 plantas de control y 13 plantas de tratamiento (sequía) por cada genotipo en el invernadero, tomando este como el día 0.
- En el día 0 se realizó la evaluación de los cinco parámetros: Potencial Hídrico, Conductancia Estomática, Fluorescencia del Fotosistema 2, Contenido de Clorofila y se extrajo las muestras para la evaluación del contenido de prolina.
- Cuando el ``Pro Check`` arrojó valores promedio de  $0,130 \text{ m}^3/\text{m}^3$  en al menos el 80% de la población se detuvo el experimento, tomando este día con el nombre de ``Día después de tratamiento``.
- En el ``Día después de tratamiento`` se evaluó nuevamente los 5 parámetros y a su vez, se tomó fotografías de las plantas de control y las de tratamiento para su diagnóstico con el método de daño de escala visual.
- El día que se detuvo la exposición al estrés, se regó las plantas a capacidad de campo y 4 días después se evaluó su recuperación con la escala de daño visual.

## **F. Metodología de evaluación**

### **1. Contenido volumétrico de agua en el suelo.**

Por cuestiones de espacio se dividió el ensayo en 3 bloques de trabajo, aquí este equipo (PROCHECK) nos ayudó a homogenizar el estado de sequía entre los 3 bloques, donde se buscó que al menos el 80% de la población del bloque tenga valores promedio de  $0,130 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , esto indicaba que el suelo ha perdido en promedio un 70% del agua, cuando se llegaba a este valor se procedió a evaluar los genotipos con los demás parámetros fisiológicos.

Farias y Calderon (1996) en su estudio aseguran que el contenido volumétrico de agua en el suelo es un indicativo para el comportamiento de los procesos metabólicos y fisiológicos de la planta. Para este trabajo se calibró el equipo presionando la tecla ``OK``, una vez listo se insertó las agujas de acero inoxidable en la muestra de suelo teniendo cautela de no llegar a traspasar a los tubérculos, los valores se indican inmediatamente para luego registrarse. Aquí se utilizaron 9 unidades experimentales para los 27 genotipos.

## **2. Rendimiento obtenido**

La cosecha de tubérculos de los veintisiete genotipos se lo realizó a los 120 días (4 meses) de la siembra o a los 60 días (2 meses) de evaluación después del tratamiento. Similar a lo propuesto por Egúsquiza (2000) en su libro ``La papa: Producción, transformación y comercialización`` donde dice que la fase y crecimiento reproductivo (Desarrollo de tubérculos) es naturalmente mayor a los 120 días de la siembra. En este estudio se contabilizó la producción individual en kilogramos por cada planta por genotipo. Obteniendo 2 tablas de resultados: rendimiento de plantas con tratamiento (sequía) y rendimiento de plantas en control. Para este registro se utilizaron 5 unidades experimentales por cada genotipo.

## **3. Daño foliar mediante escala de daño visual**

Para obtener datos cuantitativos del daño foliar de las plantas fue necesario utilizar tabla propuesta por Bamberg y Vega (1995) la cual está dividida en 9 niveles, cada uno con su descripción o significancia:

Tabla 2: Escala de Daño Visual

<b>Valores asignados (registro de marchitamiento y recuperación)</b>	<b>Porcentaje de área foliar turgente</b>	<b>Descripción de los síntomas</b>
9-8	>90                      80	Todas las Hojas Turgentes
7-6	70                              60	Hojas inferiores Marchitas
5-4	50                              40	Medio Inferior Marchita
3-2	30                              20	Hojas altas todavía turgentes
1-0	10                              0	Completamente Marchita/Necrosis

Esta escala nos ayudó a obtener valores cuantitativos de las fotografías tomadas en las plantas de tratamiento y control. La obtención de datos con esta escala se hizo: el día después del tratamiento y 4 días después, en el día de recuperación. Para este parámetro se utilizaron 10 unidades experimentales por cada genotipo.

#### **4. Contenido de prolina**

Este procedimiento fue basado en el trabajo de Gibon y Carillo (2011), a través de los cuales se pudo determinar la siguiente metodología:

1. Toma en campo de 3 submuestras vegetales por planta, de la parte superior, medía e inferior. Se los introdujo en tubos falcón y se les congeló con nitrógeno líquido para ser transportados al laboratorio.

2. Las muestras vegetales fueron trituradas con pistilos hasta dejarlas en estado de polvo, para la desinfección se utilizó alcohol al 70%.

3. Cada muestra se pesó (g) en la balanza analítica y se registró el valor, en base a este peso, se determinó la cantidad de etanol al 40% que se le debía agregar a la muestra. Por la variación en peso entre todas las muestras se usó los siguientes rangos:

A.  $\text{Peso} \leq 30,0$  Se agrego el valor del peso \* 50  $\mu\text{L}$  de Etanol (40%)

B.  $\text{Peso} > 30,0$  o  $\leq 50$  Se agrego el valor del peso \* 30  $\mu\text{L}$  de Etanol (40%)

C.  $\text{Peso} > 50$  o  $\leq 90$  Se agrego el valor del peso \* 20  $\mu\text{L}$  de Etanol (40%)

4. Se dejó reposar las muestras en etanol por 48 horas, una vez asentada la materia vegetal se extrajo 50  $\mu\text{L}$  del etanol ubicado en la superficie, y luego se agregó en tubos falcón pequeños.

5. Preparación de ``Reaction Mix``, una solución compuesta por 1 gr de Nianidrina, 60 ml de Acido Acético, 20 ml de Etanol con una concentración al 96-98% y 20 ml de Agua Destilada. Se agregó 100  $\mu\text{L}$  de Reaction Mix al tubo falcón pequeño de 50  $\mu\text{L}$ . `` Reaction Mix es una solución preparada que contiene todo lo necesario para una reacción de PCR`` (Aldrich, 2019).

6. Las muestras se introdujeron en el termociclador por 20 minutos a una temperatura de 95°C, donde se pudo observar la variabilidad de color, tinturándose con mayor intensidad las muestras que tenían mayores concentraciones de prolina, esto se debe a la presencia de nianidrina.

7. Se extrajeron 100  $\mu\text{L}$  de la placa de PCR, para poner en una nueva placa que iba a introducirse al lector de ELISA. Este equipo nos dió valores cuantitativos en base a la muestra y el color individual de cada una.

8. Los valores arrojados por el lector de ELISA, fueron transformados a  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ . Con esta transformacion pudimos saber la concentracion de prolina de cada muestra. Para poder transformar a esta unidad, se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Prolina} \left( \frac{\text{nmol}}{\text{mg peso seco}} \text{ o } \frac{\mu\text{mol}}{\text{g peso seco}} \right) = \left( \frac{\text{Absorbancia de Muestra} - \text{Absorbancia Blanco}}{\text{Pendiente}} \right) * \left( \frac{\text{Volumen del extracto}}{\text{Volumen del Ensayo}} \right) * \left( \frac{1}{\text{Masa de Muestra (mg)}} \right)$$

Donde:

- Absorbancia de la Muestra = Promedio de la absorbancia de las repeticiones.
- Absorbancia del Blanco = Promedio de la absorbancia de las repeticiones del blanco (se acostumbra a poner blancos en cada placa, es decir una columna de la placa solo de blancos. Se obtiene restando el blanco de las otras absorbancias de la misma placa. Cada placa tendrá un blanco diferente).
- Pendiente = Se calculó con la curva de calibración.
- Volumen del Extracto = Volumen total de etanol al 40% que se colocó para extraer en microlitros ( $\mu\text{L}$ ).
- Volumen del Ensayo = El mismo valor que se agrega en el tubo falcón, en este caso siempre fue 50  $\mu\text{L}$ .
- Masa de muestra = La masa que se utilizó inicialmente para la extracción en miligramos (Cabassa et al., 2010).

Una vez transformado todos los valores, estos fueron registrados para su posterior evaluación. En este trabajo se hizo con 8 unidades experimentales para cada uno de los 27 genotipos.

## **5. Conductancia estomática**

Basado en el trabajo de Barrios y Ritchie (1998) quienes analizaron el efecto de la sequía en la intercepción de luz y la apertura estomática; se realizó una medición de la conductancia estomática en el cultivo de papa. Para la medición se calibró el equipo cerrando la pinza hasta que en la pantalla del equipo se indique la iniciación. Para la toma de datos se necesitó encontrar una planta que sea representativa del daño provocado por sequía en toda la población; de esta se tomó una hoja completamente expandida y aquí se usó el porómetro cerrando la pinza en una hoja y registrando los valores. En este parámetro se utilizaron 4 unidades experimentales en cada uno de los veintisiete genotipos.

## **6. Fluorescencia de la clorofila**

Pino (2016) en su estudio evaluó el estrés hídrico y térmico en papas con metodologías como la fluorescencia de la clorofila. Para este trabajo fue necesario la utilización de pinzas adaptables a la oscuridad, estas fueron colocadas en las hojas durante media hora para lograr reducir y mantener la actividad fotosintética en esa zona. En segunda instancia el fluorómetro ya calibrado se adjuntó a las pinzas abiertas para la toma de datos, se presionó enter y los valores de FV/O y FV/M se registraron. Para este método se utilizaron 8 unidades experimentales para los 27 genotipos.

## **7. Contenido de clorofila**

Se midió el contenido de clorofila basados en el estudio realizado por Vasconcelos y Prado (2014) donde se mide la clorofila en el cultivo de papa basado en la hora de medición y el tipo de tejido. Para este proceso primero se calibró el equipo, presionando las pinzas hasta que aparezca la pantalla de inicio. Se seleccionó la primera hoja completamente expandida y en esta zona se cerró las pinzas, después el equipo indicó los valores y se hizo el registro de los mismos. Para el estudio se utilizaron 12 unidades experimentales para todos los 27 genotipos.

## **8. Potencial hídrico**

Utilizando como referencia el trabajo de Rey (2016) donde se determinó el potencial hídrico en el tejido de papa, se midió este parámetro siguiendo este procedimiento: Primero se verificó que la pantalla digital marque 0. Se tomó un tallo de una hoja completamente expandida y que sea representativa en el aspecto físico (daño y estado) del conjunto de unidades experimentales. Este tallo se introdujo en la tapa de recepción de muestra y luego se cerró, aquí se abrió la válvula de presión y se observó con una lupa la salida de agua del tallo, cuando se visualizó la salida de la primera gota de agua, se anotó el valor dado en ese punto; finalmente se abrió la válvula para que desfogue el aire comprimido y se sacó la tapa con la muestra. Debido a que el equipo requiere de tiempo para la obtención de datos se utilizaron solamente 3 unidades experimentales por cada uno de los 27 genotipos.

## VII. Resultados

### A. Contenido volumétrico en tratamiento a capacidad de campo.

Los genotipos fueron evaluados antes del tratamiento (sequía) y después del mismo, para homogenizar el estado de sequía entre los tres lotes, se utilizó el equipo Pro-Check el cuál determinó el contenido volumétrico de agua en el suelo en unidades de  $\text{m}^3/\text{m}^3$ . La figura 1 nos muestra los resultados de contenido volumétrico en los veintisiete genotipos de papa antes de ser sometidos a sequía. Se puede observar datos altamente homogéneos, donde solamente los genotipos: 11-8-6, 11-9-27, 11-9-66 y 12-4-173 están levemente por encima de  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Todos los demás genotipos reportan valores entre  $0,4$  y  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

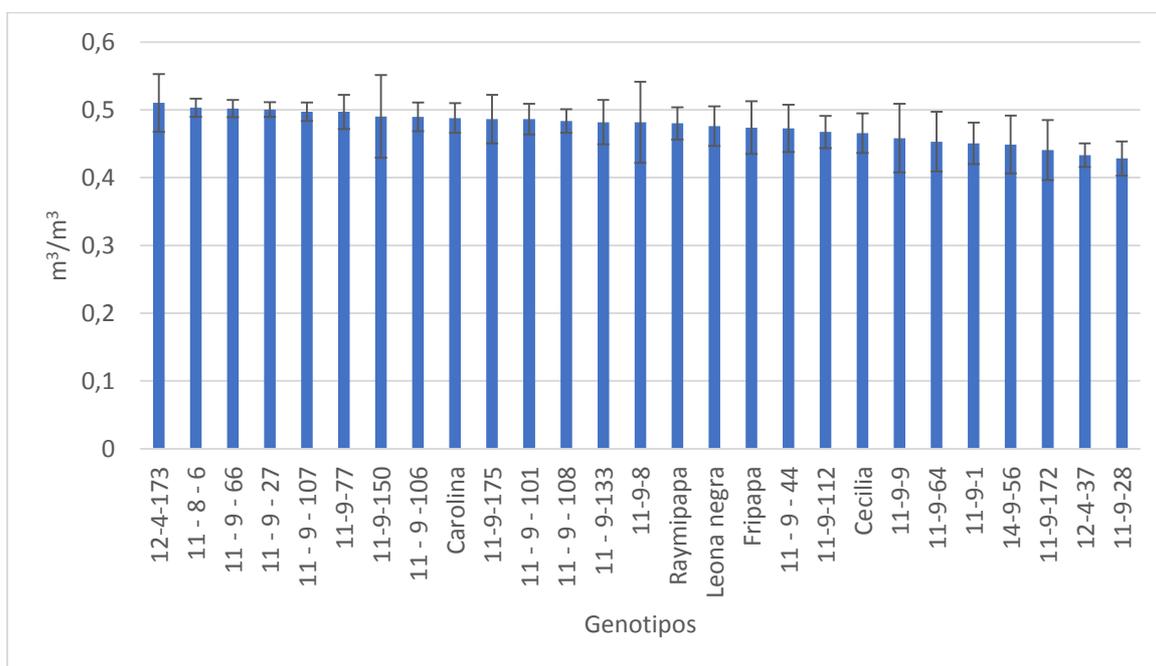


Figura 1: Contenido volumétrico en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin sequía.

## B. Porcentaje relativo de contenido volumétrico de agua en el suelo antes y después de sequía.

En la figura 2, podemos observar el porcentaje relativo de contenido volumétrico en los veintisiete genotipos de papa después de ser sometidos a sequía, donde vemos una reducción general en el contenido de agua. Podemos destacar los genotipos que estuvieron por encima del 30%: Fripapa, 11-9-28, 11-9-101, 12-4-173, 11-9-27 y 11-8-6. Los demás genotipos se encuentran en valores cercanos al 30%; pues se buscó llegar a este valor para homogenizar las condiciones de sequía entre los 3 lotes, tomando en cuenta que se evaluaron en diferente época del año donde las condiciones de sequía eran variables dependiendo de las condiciones climáticas.

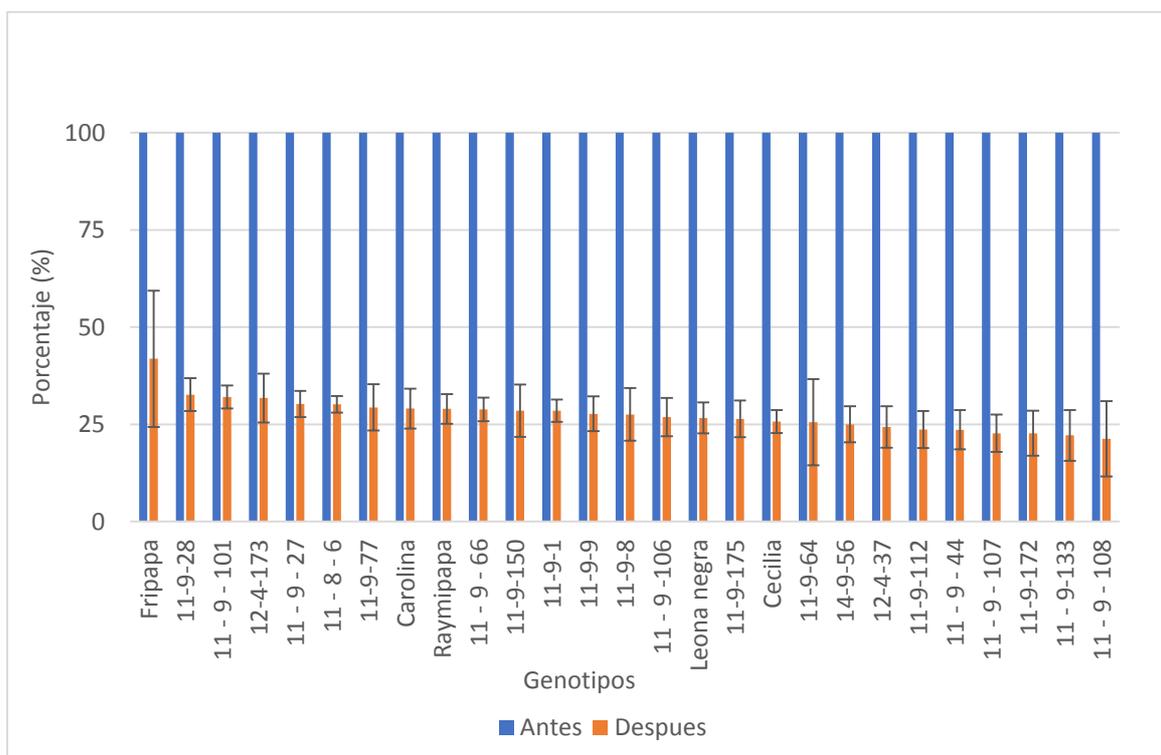


Figura 2: Porcentaje relativo de contenido volumétrico de agua en el suelo en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) antes y después de sequía.

### C. Rendimiento por planta antes y después de sequía.

#### 1. Producción sin estrés

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

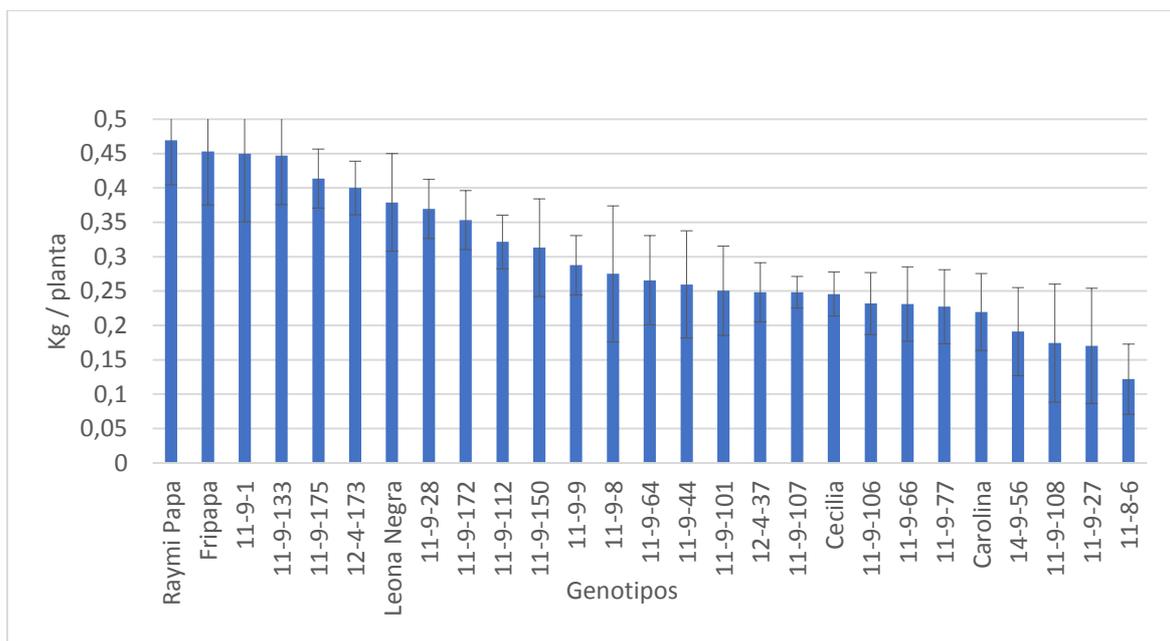


Figura 3: Producción en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin tratamiento de sequía.

## 2. Producción de tubérculos de papa (kg por planta) con estrés de sequía.

En la figura 4 se indica la producción de los veintisiete genotipos de papa después de ser sometidos a estrés por sequía. Esta figura nos indica los genotipos con promedios bajos de producción con rangos entre 0 y 0,15 kilogramos fueron: Carolina, 11-8-6, 11-9-101, 11-9-108, 11-9-27 y 11-9-66. Después tenemos los rangos de producción intermedios con rangos entre 0,15 y 0,3 kilogramos fueron: Cecilia, Leona Negra, 11-9-196, 11-9-107, 11-9-112, 11-9-150, 11-9-175, 11-9-44, 11-9-64, 11-9-77, 11-9-8, 11-9-9, 12-4-37 y 14-9-56. Por ultimo tenemos a los genotipos con rangos superiores a 0,3 kilogramos fueron: Fripapa, Raymi papa, 11-9-1, 11-9-133, 11-9-172, 11-9-28 y 12-5-173.

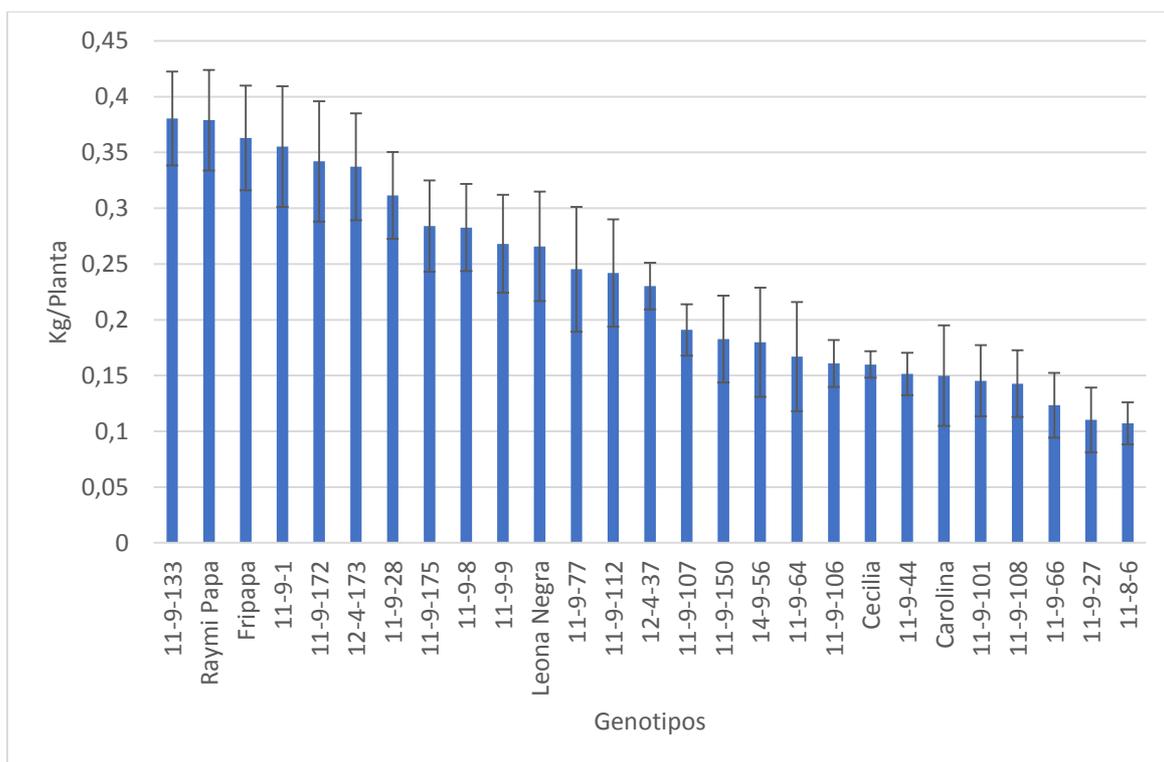


Figura 4: Producción de tubérculos en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después del tratamiento de sequía.

### 3. Porcentaje relativo de producción de tubérculos de papa antes y después del estrés de sequía

La figura 5 nos muestra el porcentaje de producción relativa de los veintisiete genotipos de papa después de ser sometidos al estrés de sequía. Los genotipos con rangos más bajos entre 40 y 60 % son: 11-9-101, 11-9-150, 11-9-44 y 11-9-66. Luego los genotipos con rangos entre 60 y 80 %: Carolina, Cecilia, Leona Negra, 11-9-1, 11-9-106, 11-9-107, 11-9-112, 11-9-175, 11-9-27 y 11-9-64. Finalmente están los rangos con valores superiores a 80 % : Raymi Papa, Fripapa, 11-8-6, 11-9-108, 11-9-133, 11-9-172, 11-9-28, 11-9-77, 11-9-8, 11-9-9, 12-4-173, 12-4-37 y 14-9-56.

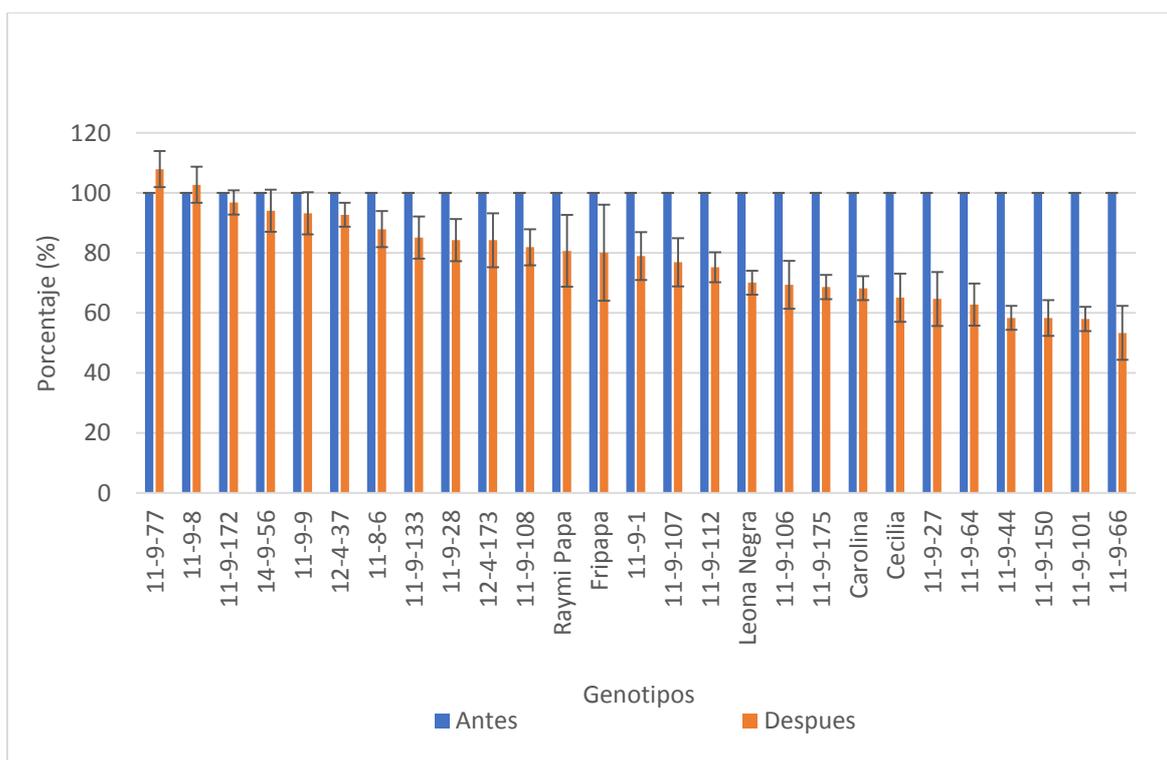


Figura 5: Porcentaje relativo de producción en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después de sequía.

## **D. Evaluación del daño foliar mediante escala de daño visual**

### **1. Nivel de daño foliar después del estrés de sequía en veintisiete genotipos de papa.**

A través de la escala de daño visual se pudo clasificar el nivel de daño en el que se encontraban las plantas después de haber sido sometidas el estrés de sequía. Así mismo pudimos evaluar el grado de recuperación (después de adicionar irrigación) que tienen los diferentes genotipos después del estrés.

En la figura 6, se puede visualizar las variedades comerciales en estudio con ejemplos de plantas de control y de tratamiento (sequía). En esta figura podemos ver el comportamiento de los genotipos después del estrés, encontrando a la variedad: Fripapa con mayor cantidad de daño y a Leona Negra con la que presenta menor cantidad de daño foliar. Estas imágenes fueron tomadas en el día que se terminó el estrés.

Después se presenta la figura 7 donde se indica el porcentaje de daño visual en todos los genotipos después de haber sido inducidos a estrés. Los genotipos con menor porcentaje de turgencia en un rango menor al 55% fueron: 11-9-172 y 11-9-9. Los genotipos que están en un rango intermedio de turgencia entre 55 y 69% fueron: Carolina, 11-9-1, 11-9-106, 11-9-107, 11-9-108, 11-9-133, 11-9-150, 11-9-172, 11-9-175, 11-9-27, 11-9-28, 11-9-44, 11-9-66, 11-9-77, 11-9-8, 12-4-173 y 14-9-56. Finalmente los genotipos que mejor porcentaje de turgencia tienen, con un rango mayor a 70% fueron: 11-9-66, Leona Negra, 11-8-6, Cecilia, 11-9-27, Raymi Papa y 12-4-173.

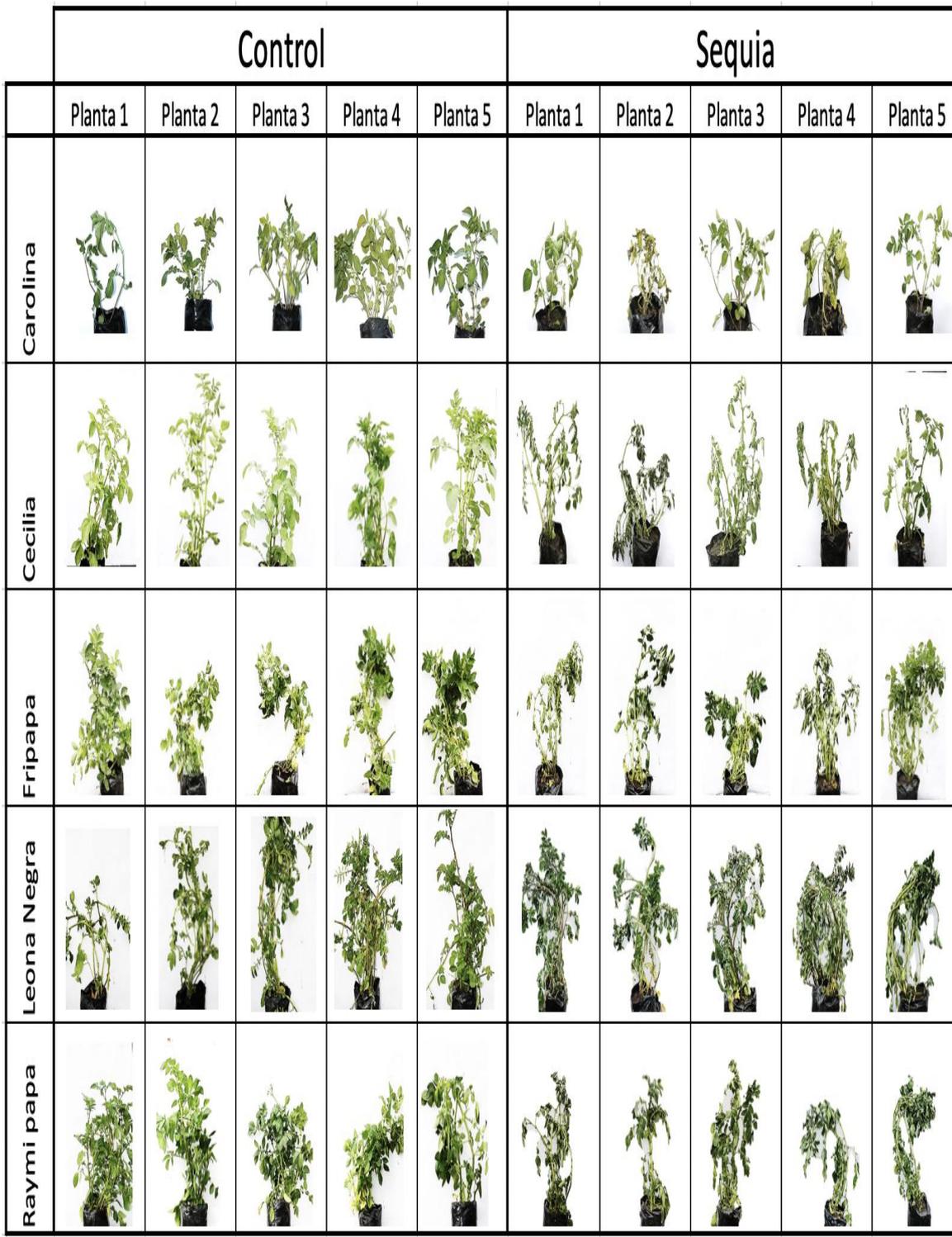


Figura 6: Nivel de daño foliar por estrés de sequía, usando la metodología de escala visual.

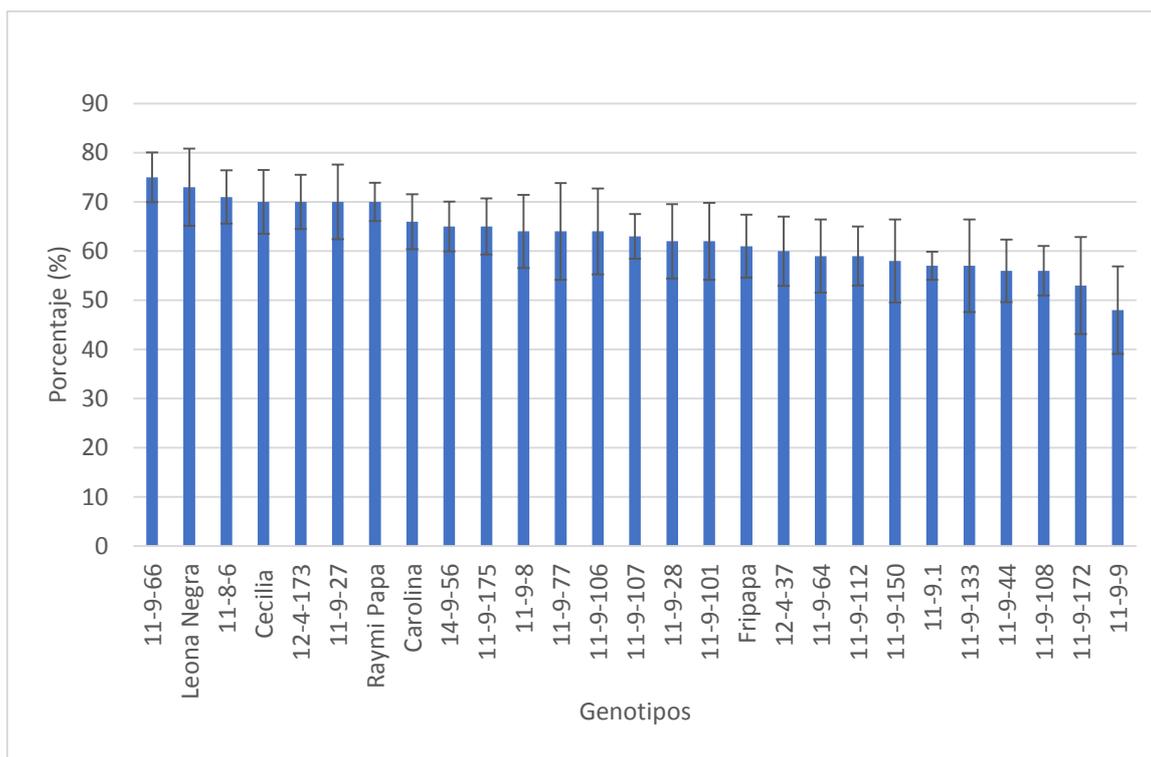


Figura 7: Índice de daño determinado por escala visual en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después de someterse a sequía.

## 2. Nivel de daño foliar en recuperación de los 27 genotipos de papa.

En la figura 8 tenemos las mismas variedades comerciales, ahora con su porcentaje de recuperación; la valoración con la escala de daño visual indica que la variedad: Carolina tiene el índice de recuperación más bajo, mientras que la variedad Fripapa es la que presenta mejor recuperación. Las fotos fueron tomadas a los tres días que se terminó el estrés, días que las plantas recibieron agua a capacidad de campo para su recuperación.

En la figura 9 se presenta el porcentaje de recuperación de los 27 genotipos que estuvieron en tratamiento y se les regó agua a capacidad de campo una vez terminado el estrés. La valoración fue realizada con ayuda de la escala de daño visual. Los resultados se

dividieron de la siguiente manera: Índice bajo de recuperación con rango menor o igual al 70%, formado por los siguientes genotipos: 11-9-108, 12-4-37 y 11-9-106. Después tenemos los genotipos con rangos de recuperación entre 70 y 80%: Raymi Papa, 11-9-77, 12-4-173, 11-9-1, 11-9-44, 11-9-28, 11-9-107, 11-9-101, 11-9-66, 11-9-27, 11-9-175, Carolina, 11-9-172, 14-9-56 y 11-9-8. Finalmente la figura nos presenta los genotipos con mejor recuperación con porcentajes entre el 80 y el 90%: 11-9-9, Leona Negra, Fripapa, Cecilia, 11-9-64, 11-9-133, 11-8-6, 11-9-112 y 11-9-150.

	Sequia					Recuperación				
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5
Carolina										
Cecilia										
Fripapa										
Leona Negra										
Raymi papa										

Figura 8: Nivel de Daño Foliar en Recuperación, usando la Metodología de Escala Visual.

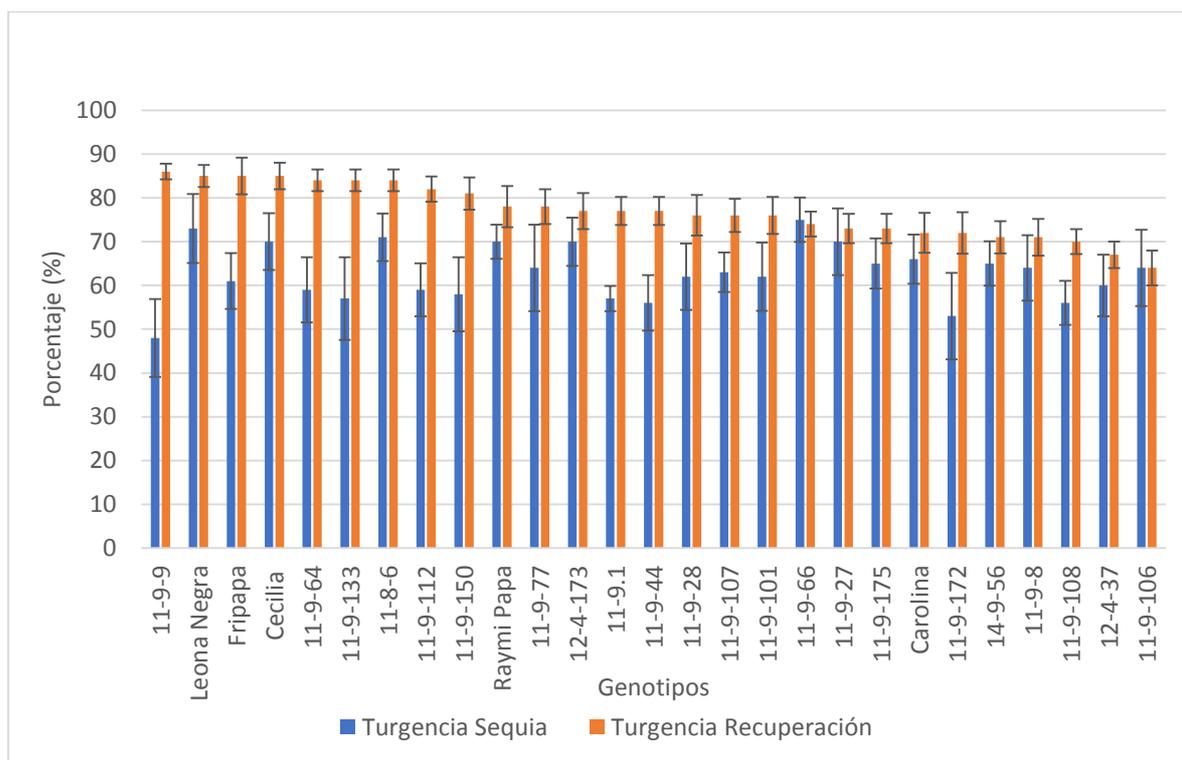


Figura 9: Índice de recuperación determinado por escala visual en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*).

### E. Valoración de la tolerancia o susceptibilidad de los veintisiete genotipos

La valoración de la tolerancia o susceptibilidad de los veintisiete genotipos se hizo en base a dos parámetros discutido anteriormente (Rendimiento y Escala de daño visual en Sequía). En la tabla 3 podemos observar la ponderación usada para el rendimiento y luego en la tabla 4 se indica la ponderación usada para la escala de daño visual de plantas en sequía. Las clasificaciones se distinguen de la siguiente forma: Tolerantes (2), Medianamente Tolerantes (1) y Susceptibles (0).

Tabla 3: Ponderación usada para Rendimiento

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

Iván y Suárez, 2009

Tabla 4: Ponderación usada para Escala de Daño Visual (Sequía)

<b>Clasificación</b>	<b>Valor</b>	<b>Rango (% Turgencia)</b>
<b>Tolerantes</b>	2	$\geq 70$ %
<b>Medíamente Tolerantes</b>	1	55 - 69 %
<b>Susceptibles</b>	0	$\leq 55$ %

Bamberg y Vega (1995)

Finalmente tenemos la tabla 5, que nos indica la valoración de los veintisiete genotipos de papa en base a: rendimiento y daño visual en tratamiento (sequía). La clasificación se diferenció de la siguiente manera: Tolerantes con un valor de: 4, medianamente tolerantes con: 3, susceptibles con 2 y muy susceptibles con valor igual o inferior a 1.

Los resultados indicaron lo siguiente: genotipos tolerantes: Raymi Papa y 12-4-173. Medianamente tolerantes: Cecilia, Friepapa, Leona Negra, 11-9-1, 11-9-133 y 11-9-28. Los genotipos susceptibles: 11-8-6, 11-9-106, 11-9-107, 11-9-112, 11-9-150, 11-9-172, 11-9-175, 11-9-27, 11-9-44, 11-9-64, 11-9-66, 11-9-77, 11-9-8, 12-4-37 y 14-9-56. Finalmente están los muy susceptibles: Carolina, 11-9-101, 11-9-108 y 11-9-9.

Tabla 5: Valoración en los veintisiete genotipos de papa mediante rendimiento y escala de daño visual.

Genotipos	Estrés por Sequía		Total
	Rendimiento (Kg/Planta)	Turgencia Sequía (%)	
Raymi Papa	2	2	4
12-4-173	2	2	4
Cecilia	1	2	3
Fripapa	2	1	3
Leona Negra	1	2	3
11-9-1	2	1	3
11-9-133	2	1	3
11-9-28	2	1	3
11-8-6	0	2	2
11-9-106	1	1	2
11-9-107	1	1	2
11-9-112	1	1	2
11-9-150	1	1	2
11-9-172	2	0	2
11-9-175	1	1	2
11-9-27	0	2	2
11-9-44	1	1	2
11-9-64	1	1	2
11-9-66	0	2	2
11-9-77	1	1	2
11-9-8	1	1	2
12-4-37	1	1	2
14-9-56	1	1	2
Carolina	0	1	1
11-9-101	0	1	1
11-9-108	0	1	1
11-9-9	1	0	1

## F. Evaluación del contenido de prolina

### 1. Contenido de prolina sin estrés

En la figura 10 podemos observar el contenido de prolina en los 27 genotipos de papa sin estrés de sequía, los resultados están dados en  $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ . Los resultados indican genotipos con un contenido de prolina bajo, con rangos menores o iguales a  $6\ \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ : Carolina, 11-9-77, 11-9-1, 11-8-6, Raymi Papa, 11-9-66, 11-9-106, 11-9-9, 11-9-150, 11-9-108, 12-4-173, Fripapa, 11-9-28, 11-9-27, 11-9-101, Leona Negra, 11-9-44, Cecilia, 11-9-64, 11-9175 y 11-9-172. Luego están los genotipos con contenido de prolina más altos con valores mayores a  $6\ \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ : 14-9-56, 12-4-37, 11-9-107, 11-9-8, 11-9-112 y 11-9-133.

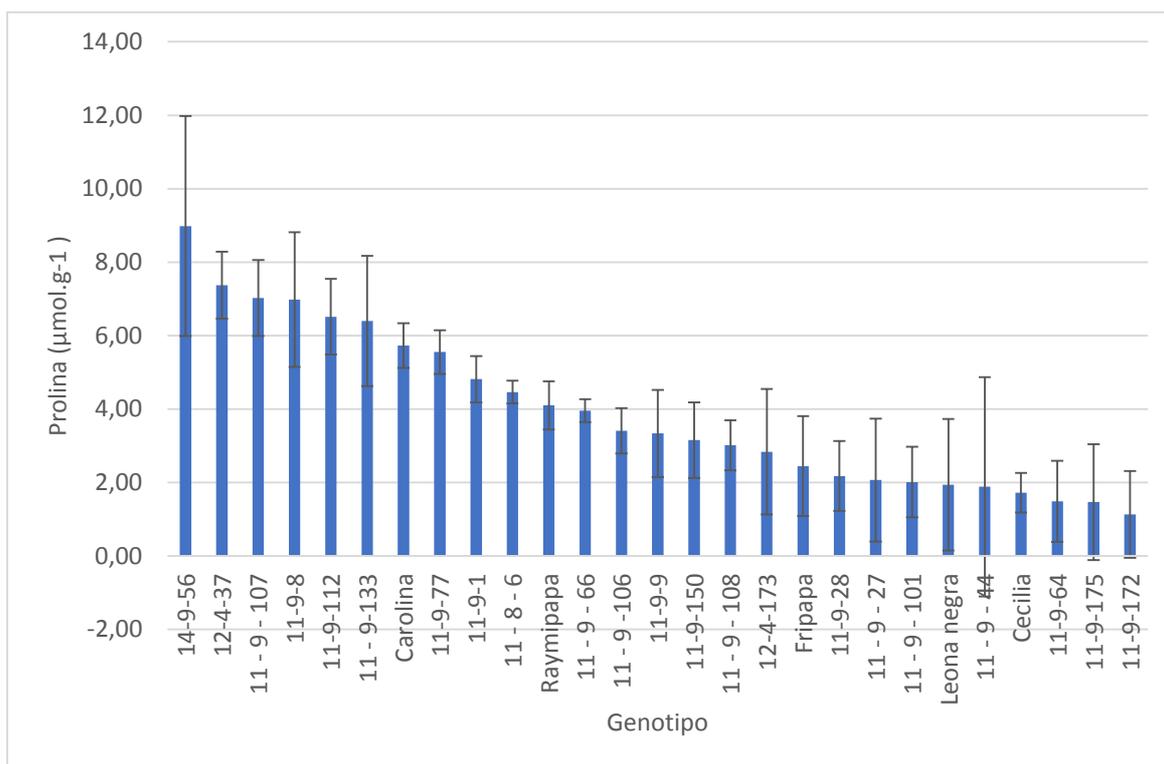


Figura 10: Contenido de prolina en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin sequía.

## 2. Contenido de prolina después de sequía

En la figura 11 se indica el contenido de prolina ( $\mu\text{mol.g}^{-1}$ ) en los veintisiete genotipos de papa después de ser sometidos a un estrés por sequía. Los resultados nos indican una elevación general del contenido de prolina en todos los genotipos. Los que tienen valores iguales o menores a  $20 \mu\text{mol.g}^{-1}$  son: 12-4-37, Leona Negra, 11-9-28, 11-9-106, 12-4-173, 11-9-101, 11-9-9, 11-8-6, 11-9-64 y 11-9-150. Los genotipos con rangos intermedios entre 20 y  $40 \mu\text{mol.g}^{-1}$  son: 11-9-107, 11-9-66, Carolina, 11-9-27, 11-9-8, Cecilia, 11-9-77, 11-9-44, 11-9-172, 11-9-108, 11-9-1, 11-9-133 y Fripapa. Por último, los genotipos con mayor contenido de prolina con rangos mayores a  $40 \mu\text{mol.g}^{-1}$  son: 11-9-112, Raymipapa, 11-9-175 y 14-9-56.

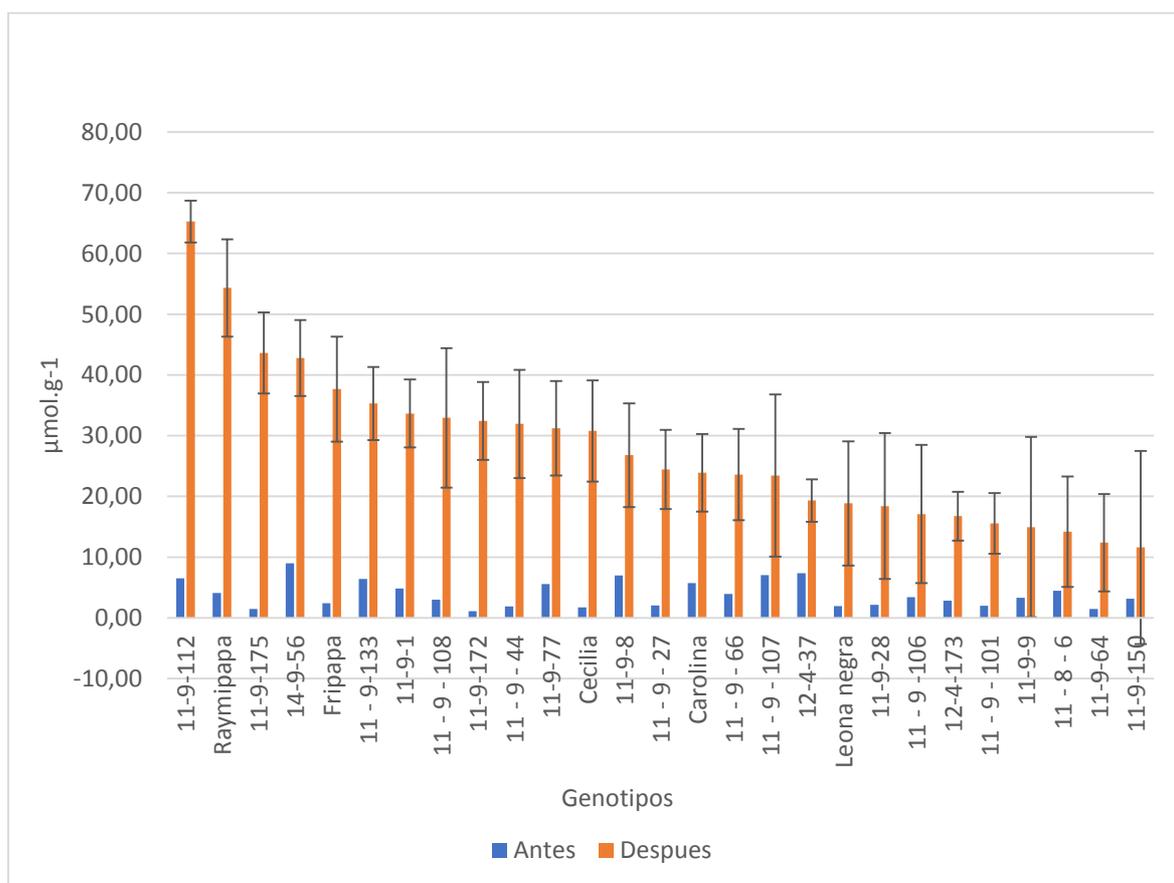


Figura 11: Contenido de prolina en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después de sequía.

## G. Evaluación de la conductancia estomática

### 1. Conductancia estomática sin estrés

En la figura 12 se indica los valores de conductancia estomática para los 27 genotipos sin estrés. Los valores están dados por el equipo porómetro en unidades de  $\text{mmol/m}^*\text{seg}$ . Los resultados se dividieron en 3 rangos: Los genotipos de baja apertura estomática con rangos entre 150 y 300  $\text{mmol/m}^*\text{seg}$  fueron: 14-9-56 y 11-9-64. Los genotipos de transpiración medía con rangos entre 301 y 500  $\text{mmol/m}^*\text{seg}$ : 11-8-6, 11-9-107, 11-9-66, 11-9-106, Fripapapa, Leona Negra, Raymipapa, 11-9-1, 11-9-112, 11-9-172, 11-9-175, 11-9-28, 11-9-77, 11-9-8, 11-9-9 y 12-4-173. Y los genotipos con mayor tasa de transpiración con rangos mayores o iguales a 501  $\text{mmol/m}^*\text{seg}$ : Carolina, 11-9-44, Cecilia, 11-9-105, 11-9-108, 11-9-133, 11-9-27 y 11-9-101.

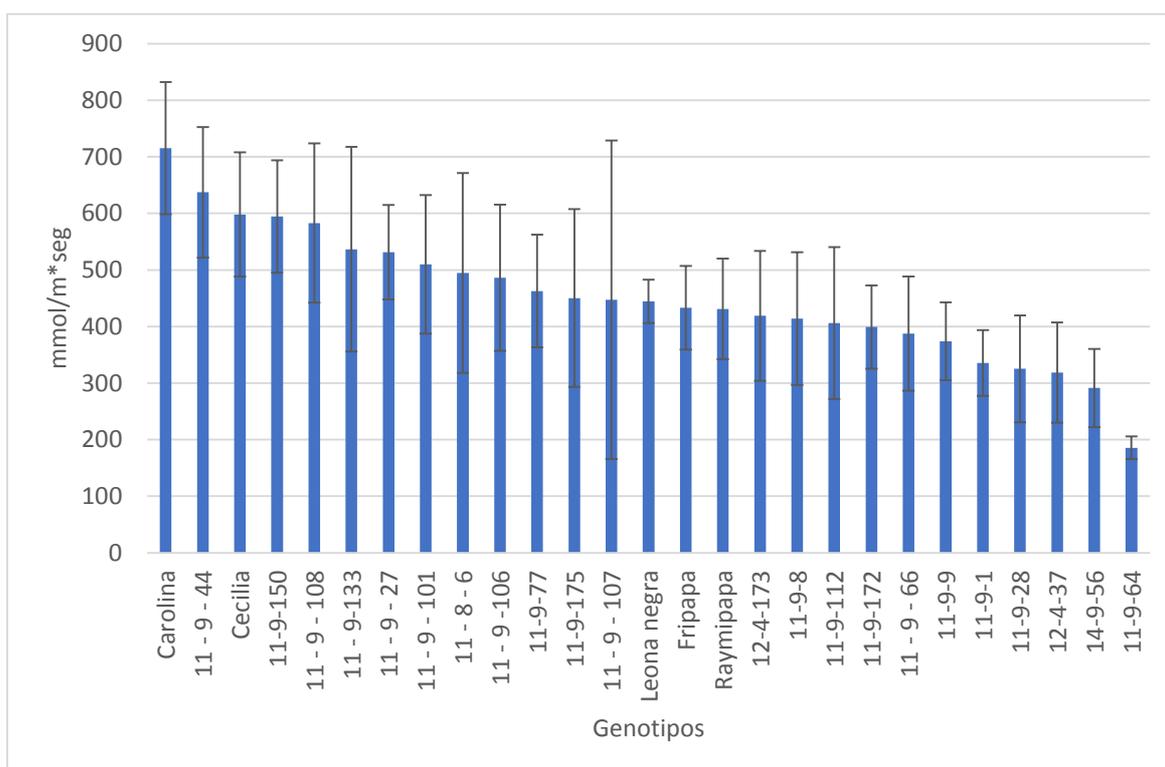


Figura 12: Conductancia estomática en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin sequía

## 2. Conductancia estomática relativa después de sequía

La figura 13 representa el porcentaje relativo de apertura estomática para los veintisiete genotipos inducidos a sequía. Los resultados están formados por: los genotipos con mayor apertura estomática con rangos mayores o iguales al 50%: 11-9-172, 11-9-175, 11-9-28 y 11-9-77. Los de apertura estomática intermedia entre 25 y 49 %: Carolina, Leona Negra, 11-8-6, 11-9-101, 11-9-66, 11-9-133, 11-9-1, 11-9-64, 12-4-173 y 14-9-56; finalmente tenemos a los genotipos con apertura estomática baja con rangos entre 5 y 24%: 11-9-27, Fripapá, 11-9-108, Raymi Papa, 12-4-37, 11-9-106, 11-9-9, 11-9-8, 11-9-112, Cecilia, 11-9-107, 11-9-44 y 11-9-150.

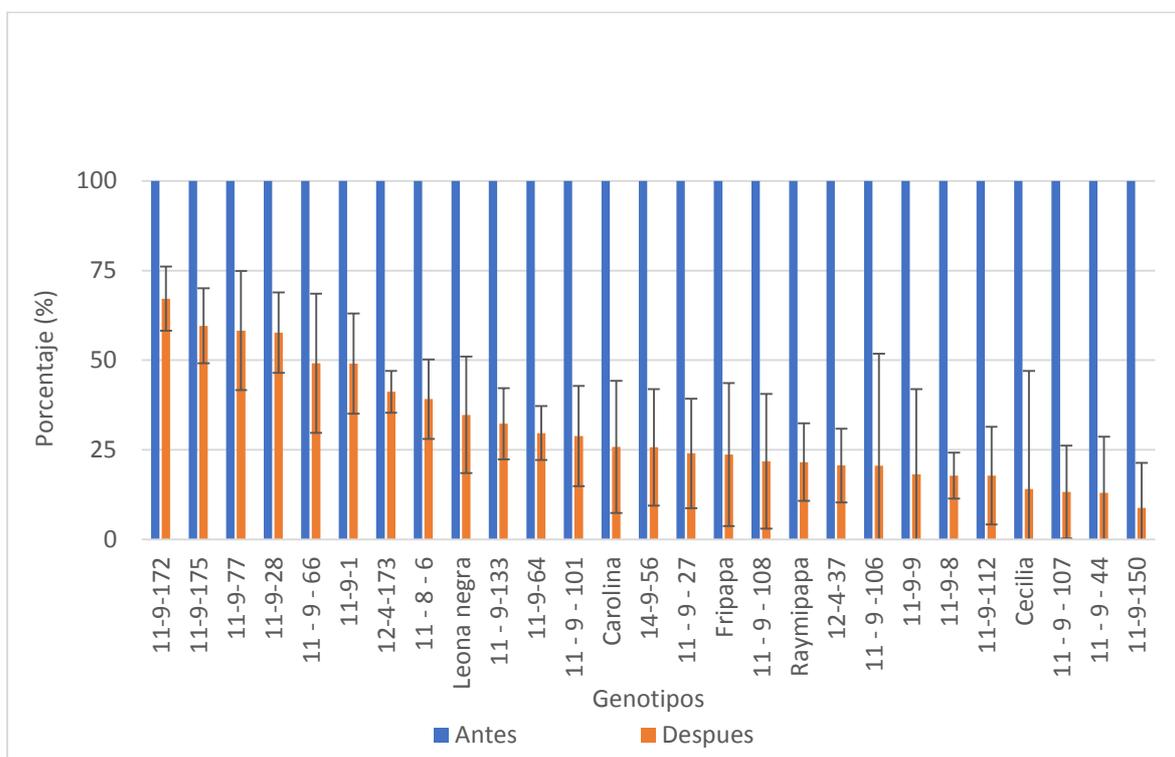


Figura 13: Porcentaje relativo de apertura estomática en 27 genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después de sequía.

## H. Evaluación de la fluorescencia de clorofila

### 1. Fluorescencia de clorofila sin estrés

A continuación se indican los valores de fluorescencia en los veintisiete genotipos sin estrés (Figura 14). Los valores están dados por el equipo Fluorimetro en unidades de FV/O. En este parámetro se pudo observar mucha homogeneidad, por lo que se dividió a los resultados en dos rangos, los genotipos que se encuentran con valores superiores o iguales a 4 FV/O: Cecilia, Fripapa, Raymipapa, 11-8-6, 11-9-101, 11-9-107, 11-9-108, 11-9-27, 11-9-44, 11-9-66, 11-9-106, 11-9-133, 11-9-1, 11-9-112, 11-9-150, 11-9-172, 11-9-175, 11-9-64, 11-9-77, 11-9-8, 11-9-9, 11-4-173, 12-4-37 y 14-9-56. Y los genotipos con valores por debajo de 4 FV/O: 11-9-28, Leona Negra y Carolina.

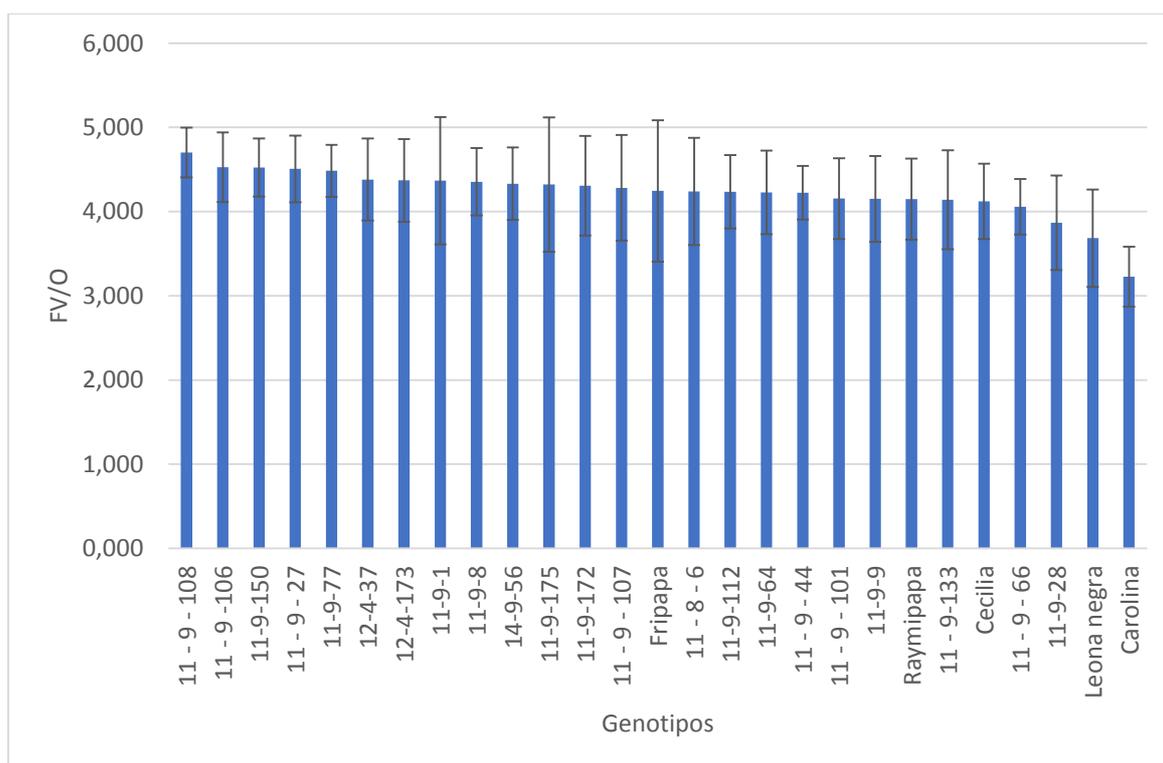


Figura 14: Fluorescencia de clorofila (fv/o) en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin sequía.

## 2. Fluorescencia relativa de clorofila después de sequía

En la figura 15 se indica los valores del porcentaje relativo de fluorescencia en los veintisiete genotipos después de ser sometidos a sequía. Los genotipos con porcentajes considerados altos son mayores o iguales a 75%: Cecilia, Fripapapa, Leona Negra, Raymipapapa, 11-8-6, 11-9-101, 11-9-107, 11-9-108, 11-9-27, 11-9-44, 11-9-66, 11-9-106, 11-9-133, 11-9-1, 11-9-112, 11-9-150, 11-9-172, 11-9-175, 11-9-28, 11-9-77, 11-9-8, 12-4-173, 12-4-37y 14-9-56. Por otra parte los que tienen porcentajes intermedios son los que están entre 50 y 75%: 11-9-64 y 11-9-9. Finalmente el único genotipo que está en un porcentaje bajo menor a 50% es: Carolina.

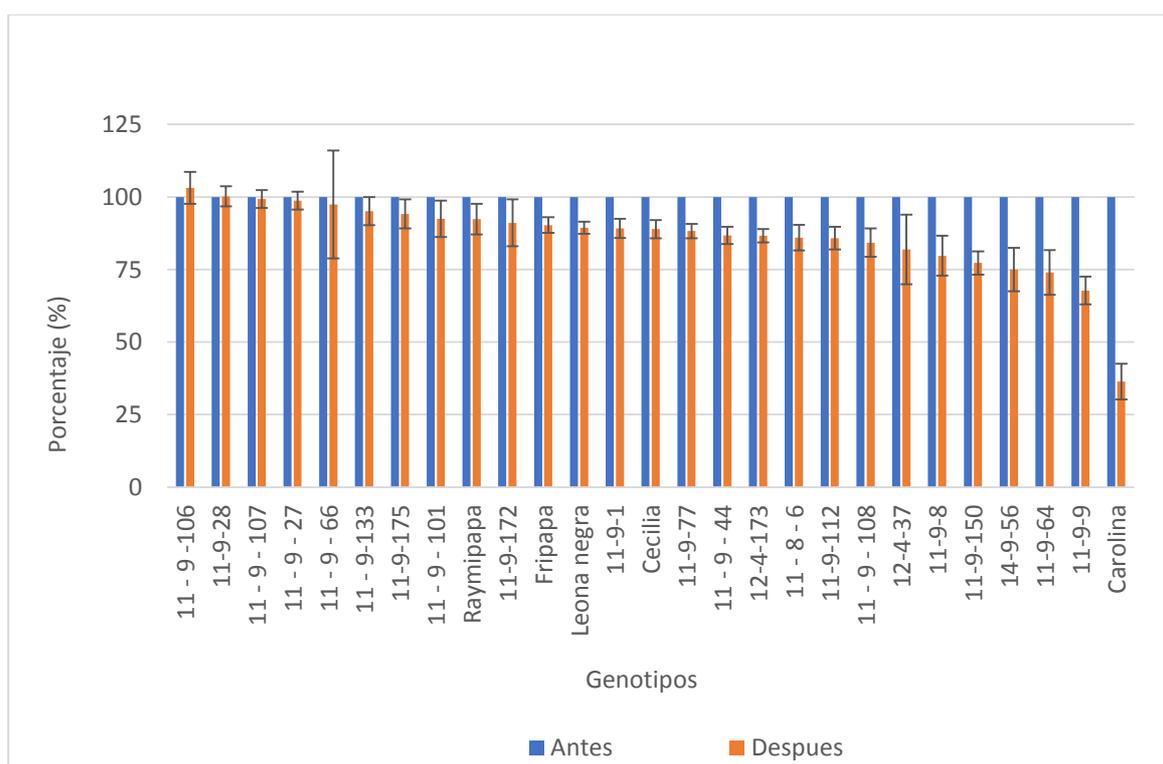


Figura 15: Porcentaje relativo de fluorescencia en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después de sequía.

## I. Evaluación del contenido de clorofila

### 1. Contenido de clorofila sin estrés

En la figura 16 podemos visualizar los resultados obtenidos por el equipo SPAD en veintisiete genotipos y representados como: Unidades SPAD. Estos resultados representan el contenido de clorofila de los veintisiete genotipos sin estrés. Hay poca variación entre los resultados de las variedades. Se diferenciaron los resultados de la siguiente manera: Las que tienen valores entre 40 y 49 unidades SPAD: 11-9-28, Carolina, Cecilia, Fripapa, Leona Negra, 11-8-6, 11-9-101, 11-9-107, 11-9-108, 11-9-27, 11-9-66, 11-9-106, 11-9-133, 11-9-1, 11-9-172, 11-9-175, 11-9-64, 11-9-9, 12-4-173, 12-4-37 y 14-9-56. Y los genotipos que tienen valores iguales o superiores a 50 unidades SPAD: 11-9-77, Raymipapa, 11-9-150, 11-9-8, 11-9-112, 11-9-44, 11-9-28, 11-9-175, 11-9-64, Leona negra, 14-9-56, 11-8-6, 11-9-133, 11-9-101, 11-9-172, Cecilia, 11-9-106, Fripapa, 11-9-1, 11-9-108, 12-4-173, 11-9-66, 12-4-37, Carolina, 11-9-9, 11-9-27, 11-9-8, 11-9-112 y 11-9-44.

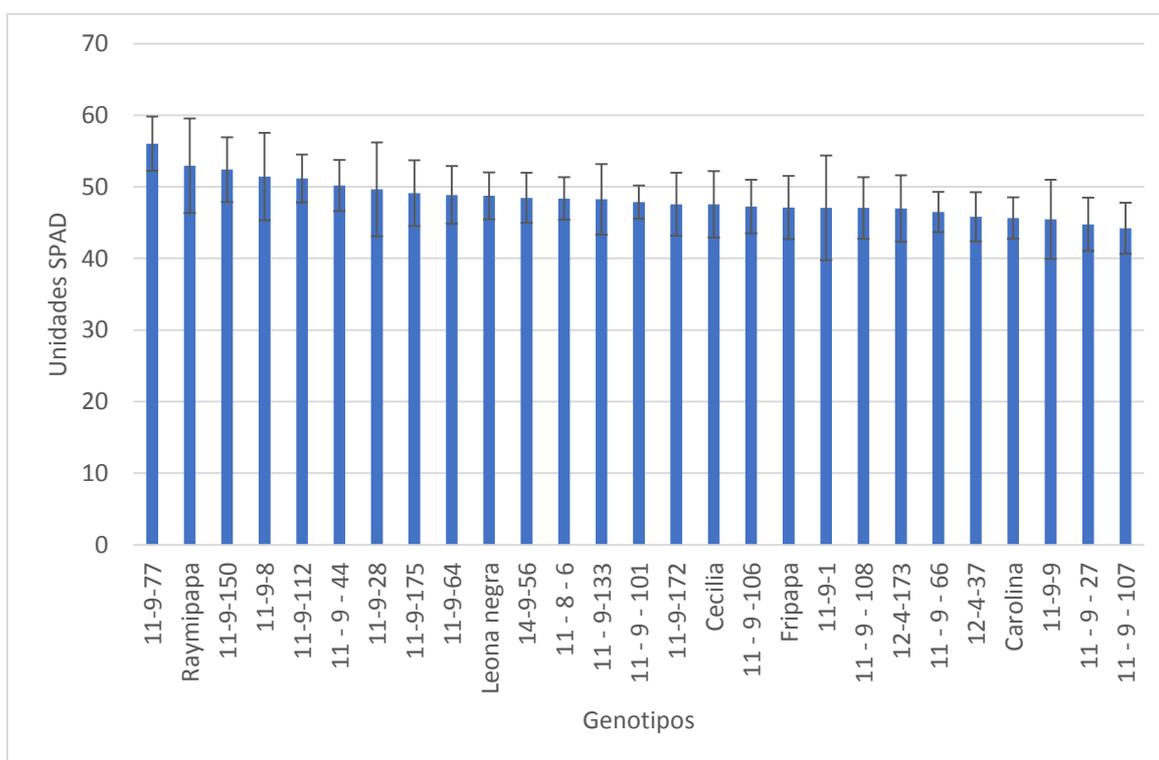


Figura 16: Contenido de clorofila en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin sequía.

## 2. Contenido relativo de clorofila después de sequía

La figura 17 nos presenta los valores del porcentaje relativo del contenido de clorofila presente en cada uno de los veintisiete genotipos después de ser sometidos a sequía. El genotipo que presentó el valor más bajo fue: 11-9-64 con valor menor al 80%. Los genotipos que presentan valores intermedios entre 80 y 99% son: 11-9-107, 11-9-27, 11-9-106, Leona Negra, 11-9-44, 11-9-8, 11-8-6, 11-9-133, 11-9-101, 11-9-150, 11-9-175, 14-9-56, Raymi Papa, 11-9-9, 11-9-108, 12-4-37, 12-4-173, 11-9-77, Carolina y 11-9-112. Luego tenemos a los genotipos con mejores porcentajes relativos llegando y siendo mayores al 100%: Fripapa, 11-9-172, 11-9-28, 11-9-66 Cecilia y 11-9-1.

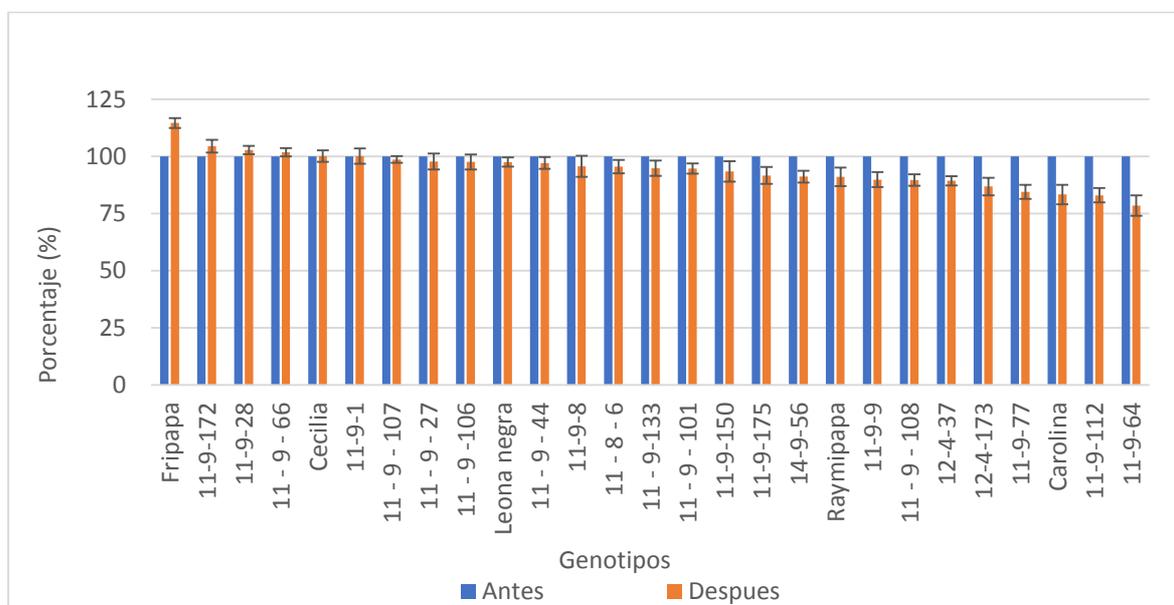


Figura 17: Porcentaje relativo del contenido de clorofila en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) después de sequía.

## J. Evaluación del potencial hídrico en papa

### 1. Potencial hídrico sin estrés

En la figura 18 podemos observar los resultados obtenidos por la cámara de Scholander en los veintisiete genotipos de papa sin estrés, este equipo utiliza presión para la obtención de datos por esto sus unidades: Bar. Se puede distinguir las plantas con un

potencial hídrico alto, con valores menores o iguales a -3,5 Bar: Carolina, 11-9-101, Cecilia, 11-9-27, 11-9-44 y Frippapa. Después encontramos a las de potencial hídrico intermedio con rangos entre -3 y -3,49 Bar: 11-9-9, 11-9-133, 11-9-108, 12-4-37, 11-9-112, Raymi Papa, 11-9-77, 11-9-64, 11-9-28 y 11-9-106. Luego están los genotipos con potencial hídrico bajo con valores mayores a -3 Bar: 11-9-66, 11-9-172, 14-9-56, 11-9-150, 12-4-173, 11-9-175, 11-9-8, 11-9-1, 11-9-107, Leona Negra y 11-8-6.

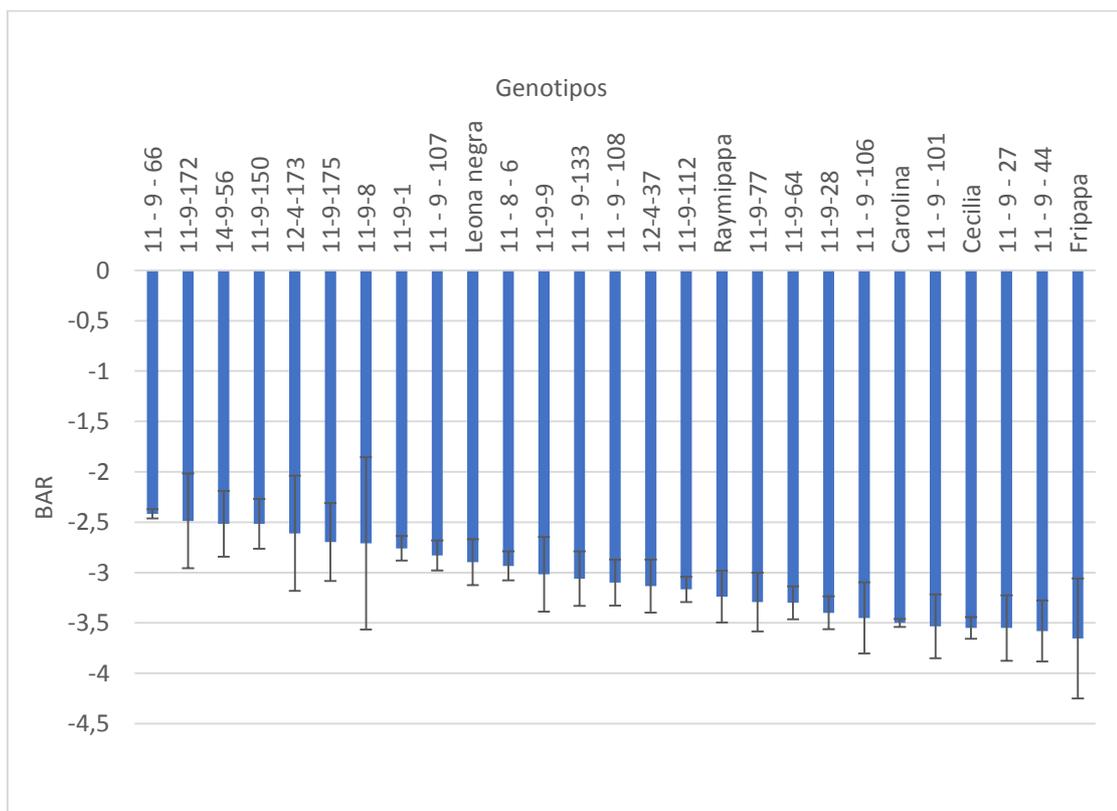


Figura18: Potencial hídrico en veintisiete genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) sin sequía.

## 2. Potencial hídrico después de sequía

En la figura 19 se indica el potencial hídrico de los veintisiete genotipos de papa después de someterse al estrés de sequía. Los genotipos con mayores valores son: 11-9-172, 11-9-28, 11-9-106, 11-9-106, 11-9-108, Frippapa, 11-9-107, 11-9-175, 11-9-77, 11-9-9, 11-9-133 y 11-9-101 con valores mayores o iguales a 10 Bar. Después tenemos los genotipos

con valores entre 8 y 10 Bar: 11-9-44, Carolina, 11-8-6, 12-4-173, 11-9-64, Cecilia, 11-9-112, 11-9-66, 12-4-37 y 11-9-1. Finalmente tenemos los genotipos con valores inferiores a 8: Raymi Papa, 11-9-150, Leona Negra, 11-9-8, 14-9-56 y 11-9-27.

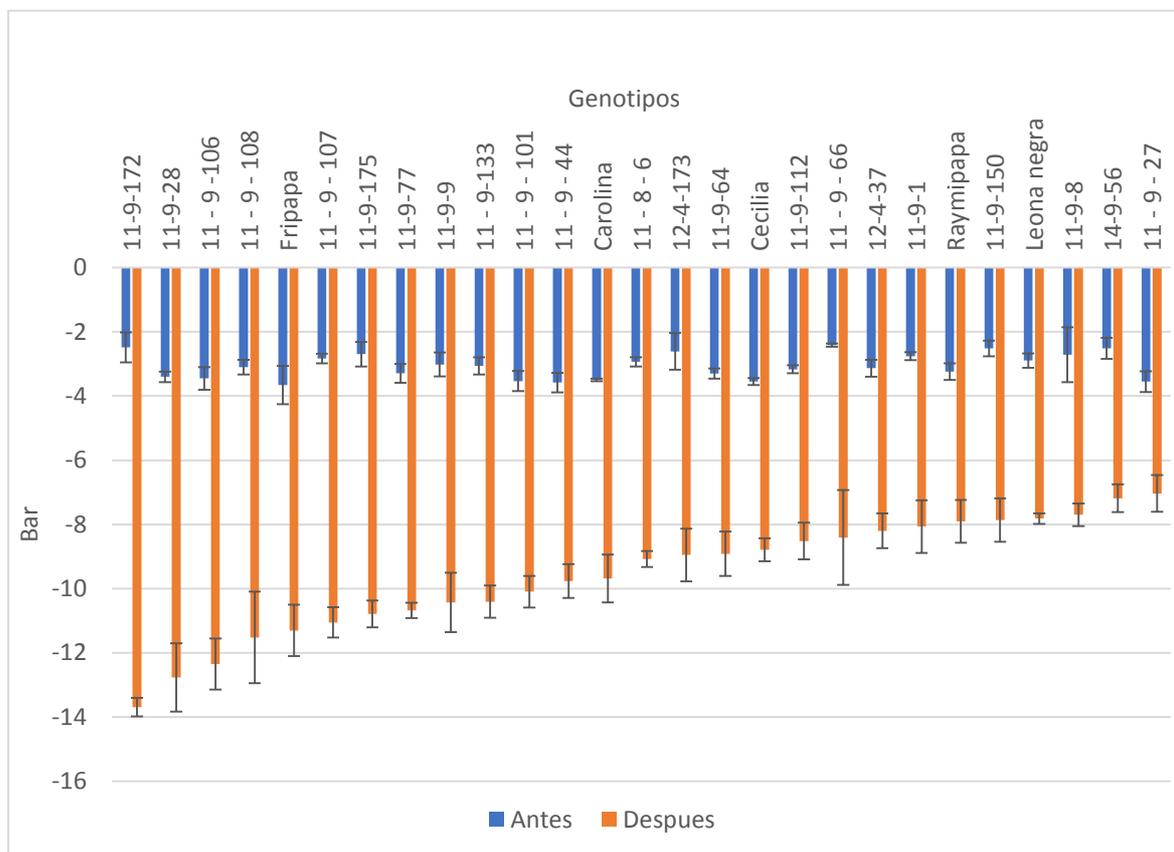


Figura 19: Potencial hídrico en veintisiete genotipos de papa (*solanum tuberosum*) después de sequía.

### K. Correlaciones entre las variables de rendimiento y las fisiológicas

Para la obtención de las correlaciones se hizo un gráfico de dispersión entre la variable dependiente (rendimiento) y las variables independientes (parámetros fisiológicos). Con este grafico se pudo obtener el  $R^2$  (Coeficiente de Determinación) de la línea de tendencia.

La tabla 6 nos indica las correlaciones de los parámetros fisiológicos versus la producción de los genotipos con y sin estrés. Así mismo muestra la correlación entre el daño visual y los parámetros fisiológicos. Primero observamos los coeficientes de correlación entre producción de tubérculos sin estrés versus los diferentes parámetros: Spad con 0.02, Fluorescencia con 0.15 y Conductancia Estomática con 0.09. Luego tenemos la correlación de producción en sequía versus los parámetros: Daño visual con una correlación de 0.07, índice de recuperación con 0.01, SPAD con 0.09, Fluorescencia con 0.04, Conductancia Estomática con 0.36, Contenido de Prolina con 0.16 y Potencial Hídrico con 0.04. Finalmente esta la correlación de la escala de daño visual versus los diferentes parámetros: SPAD con 0,0013, Fluorescencia con 0,08, Conductancia Estomática con 0,11, Prolina con 0,01 y Potencial Hídrico con 0,01.

Con el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que se obtuvo, se aplicó la raíz cuadrada para obtener el coeficiente de correlación. Este último valor se comparó con la tabla de valores del coeficiente de correlación  $r$ , para diferentes niveles de significación y grados de libertad, en una significación mayor a 0,05 (Fisher y Yates, 1971). Con esto concluimos que solamente la correlación de: producción después del estrés versus la producción sin estrés muestran significancia (S), con un valor de 0,8. Las demás correlaciones encontramos que ninguna muestra significancia, es decir son no significativas (NS).

Tabla 6: Correlaciones de parámetros fisiológicos versus producción de tubérculos con y sin estrés de sequía

<b>Parámetros de Correlación (R<sup>2</sup>) Fisiológicos versus Producción</b>								
	<b>Daño Visual</b>	<b>Indice de Recuperación</b>	<b>Spad</b>	<b>Fluorescencia</b>	<b>Conductancia Estomática</b>	<b>Prolina</b>	<b>Potencial Hídrico</b>	<b>Producción después del estrés</b>
<b>Producción sin estrés</b>	-	-	0,02 (NS)	0,15 (NS)	0,09 (NS)	-	-	<b>0,8 (S)</b>
<b>Producción después del estrés</b>	0,07 (NS)	0,01 (NS)	0,09 (NS)	0,04 (NS)	0,36 (NS)	0,16 (NS)	0,04 (NS)	-
<b>Daño Visual en Sequía</b>	-	-	0,001 (NS)	0,08 (NS)	0,11 (NS)	0,01 (NS)	0,01 (NS)	0,07 (NS)

## **VIII. Discusión**

### **A. Evaluación de las condiciones del tratamiento de sequía**

Para la evaluación en sequía se buscó homogenizar los tres bloques de trabajo, esto se realizó con ayuda del equipo PROCHECK que nos ayudó a determinar condiciones similares de sequía para la posterior evaluación de los parámetros fisiológicos de los genotipos. Se buscó tener un impacto alto de sequía donde las actividades fisiológicas de la planta puedan ser notadas con facilidad con los equipos de evaluación. Según Soriano (2017), en su trabajo de investigación de mecanismos de protección frente al déficit hídrico en plantas, indica que las plantas alteran su comportamiento fisiológico en el punto más alto cuando tienen un déficit hídrico entre 50 y 70% de agua en el suelo. Es así que en este estudio se buscó que al menos el 80% de la población del bloque pierda un 70% de su agua disponible en el suelo para poder evaluar sus parámetros fisiológicos.

Este déficit hídrico puede traducirse a cantidad de días de estrés por sequía, en el trabajo presentado por Angulo y Magne (2011) se evaluó la resistencia a estrés hídrico por sequía en variedades de papa bajo invernadero, donde se determinó que las sintomatologías de daño son visibles entre los 6 y los 18 días de ser sometidos a estrés por sequía. Es así que en el presente trabajo los días de evaluación fueron los siguientes: Bloque 1 (10 genotipos): 11 días, Bloque 2 (10 genotipos): 12 días y Bloque 3 (7 genotipos): 15 días, donde efectivamente pudimos encontrar una disminución del 70% de contenido volumétrico de agua en el suelo y a su vez con sintomatologías de daño visibles para su posterior evaluación.

#### **B. Evaluación del daño foliar y el rendimiento en sequía**

En el trabajo realizado por Bonilla (2012) también se investigó la tolerancia al déficit hídrico en diferentes genotipos de papa; los parámetros que el autor uso para calificar la tolerancia fueron: una escala para determinar el vigor y la senescencia de la planta y el rendimiento o número de tubérculos por planta. Es decir los parámetros usados para determinar la tolerancia son los mismos que presenta este trabajo, sin embargo Bonilla agrega un análisis estadístico con prueba de Tukey para determinar la tolerancia junto con su significancia entre genotipos. Por otra parte el trabajo de este autor no cuenta con análisis de parámetros fisiológicos para entender el comportamiento de la planta ante un estrés de sequía.

Los autores Zeas y Escandon (2010) en su investigación también evaluaron el rendimiento del cultivo de papa, ellos indican que el mejor tiempo en el ciclo del cultivo para la cosecha es a los 120 días de la siembra. Este es el periodo de tiempo en la que se cosecho en este trabajo, de igual manera en este trabajo y en el de Zeas y Escandon, se realizó

una cosecha individual por planta. Sin embargo en el estudio hecho por estos autores también se contabiliza el rendimiento por hectárea del genotipo para acercarse a valores más reales y eficientes para el agricultor.

El uso de una escala de daño visual para evaluar los daños ocasionados por sequía en hojas y tallos es altamente usada, es así que los investigadores Ledent y Rojas (2014) reportan el uso de esta escala para su trabajo donde evaluaron el efecto de la sequía en la morfología y crecimiento de la planta. La escala usada por estos autores cuenta con 6 calificaciones posibles, mientras que la usada en este estudio cuenta con 9 calificaciones, es decir la escala usada es más específica y mejor descriptiva. De igual manera, para determinar la tolerancia vemos que se repite el uso del conteo de tubérculos por planta.

### **C. Evaluación de las respuestas fisiológicas del cultivo de papa en sequía**

Días (2016) reporta una evaluación de la tolerancia al estrés hídrico en genotipos de papa a través de rendimiento (peso y número de tubérculos por planta) y parámetros fisiológicos como: temperatura de la hoja, contenido relativo de agua, tasa de fotosíntesis (fluorescencia), potencial hídrico, y contenido de clorofila. En el trabajo realizado por Díaz, se midió todos los parámetros desde el primer día de estrés por sequía y luego con lapsos de cuatro días (1-5-9-13 hasta el día 17). La autora reporta que los resultados más eficientes son los del día 1 y el día 17; es decir su día inicial y final de tratamiento. Es así que en el presente trabajo se evaluó solamente en el día inicial y final del tratamiento por sequía.

Los resultados obtenidos por Días indican que en la tasa de fotosíntesis el valor de fluorescencia es más bajo en las plantas con déficit hídrico mas alto o las menos tolerantes, en esta investigación se presentan resultados similares, tal es así que Carolina (una de las menos tolerantes) presentó el valor de fluorescencia más bajo. En el contenido de clorofila, la autora a través de un análisis estadístico con el valor P, determina que no hay diferencias significativas entre las plantas en sequía y las plantas de control, lo mismo podemos observar en este trabajo pues no existe relación entre las plantas más tolerantes o susceptibles con su contenido de clorofila. Por otro lado en el trabajo de Diaz se afirma la siguiente relación: las plantas con potencial hídrico más bajo son las plantas menos tolerantes, en el presente trabajo no se pudo obtener la misma relación, pues se muestra más variabilidad entre el potencial hídrico y la tolerancia.

La evaluación de las respuestas fisiológicas antes un estrés de sequía han sido estudiadas en diferentes campos, es así que Fonseca y Lozano (2015) evaluaron las respuestas fisiológicas en Cacao con falta de disponibilidad de agua en el suelo. Específicamente se evaluó: potencial hídrico, apertura estomática y la fluorescencia emitida por la fotosíntesis. Las respuestas ante un déficit hídrico entre cultivos puede ser similar, los autores indican una reducción en el potencial hídrico de la planta, el cierre de estomas y la reducción de la actividad fotosintética de las plantas de cacao cuando están en un estrés por sequía. Resultados que son similares en el cultivo de papa, pues en este trabajo se observó que existe una reducción general del potencial hídrico en los veintisiete genotipos, así mismo se observó que el cierre estomático se hace notorio, al igual que la reducción de la actividad fotosintética; concluyendo que el comportamiento entre cultivos ante un estrés por sequía puede ser similar, es decir sus mecanismos de defensa pueden actuar de manera similar entre unos y otros.

## IX. Conclusiones

- Se encontró una correlación positiva (significancia) entre: la producción de las plantas en estrés por sequía versus la producción de las plantas sin estrés, con un valor de  $R^2 = 0,8$ .
- El efecto de un estrés por sequía causa daño notorio sobre el material vegetal de un cultivo de papa, la respuesta indica que las plantas pierden entre un 30 y un 50% de turgencia después de ser sometidas al estrés.
- Las metodologías: Potencial Hídrico, Conductancia Estomática, Fluorescencia de la Clorofila, Contenido de Clorofila y Contenido de Prolina ayudan a entender el comportamiento fisiológico de los genotipos ante un estrés por sequía, sin embargo no son totalmente fiables para poder determinar si los genotipos son tolerantes o susceptibles.
- La tolerancia y susceptibilidad a sequía de los genotipos evaluados se resume así: los genotipos tolerantes fueron: Raymi Papa y 12-4-173. Los medianamente tolerantes fueron: Cecilia, Fripapa, Leona Negra, 11-9-1, 11-9-133 y 11-9-28. Los genotipos susceptibles fueron: 11-8-6, 11-9-106, 11-9-107, 11-9-112, 11-9-150, 11-9-172, 11-9-175, 11-9-27, 11-9-44, 11-9-64, 11-9-66, 11-9-77, 11-9-8, 12-4-37 y 14-9-56. Y los muy susceptibles fueron: Carolina, 11-9-101, 11-9-108 y 11-9-9.

## **X. Recomendaciones**

- Diseñar un programa de manejo de fumigación y fertilización del material vegetal para su mejora en la uniformidad.
- Utilizar un diseño experimental usando repeticiones o bloques para obtener datos más concretos y con relevancia estadística.
- Realizar estudios de expresión genética donde podamos correlacionar la tolerancia o susceptibilidad con las respuestas fisiológicas.

## XI. Bibliografía

- Aguilar y Peña, (2006). Alteraciones Fisiologicas Provocadas por sequía en Nopal. Montecillo-Mexico. Vol. 29 (3): 231 – 237, Recuperado el 26 de mayo del 2019 de <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/29-3/7a.pdf>
- Alonso, (2014). Cinco iniciativas andinas que estarian contribuyendo a ala adaptacion de la papa al cambio climatico Recuperado el 22 de Mayo del 2019 de <https://medium.com/@redepapa/la-papa-y-el-cambio-climatico-fc70e4956052>
- Angulo y Magne, (2011). Resistencia genetica a estrés hidrico por sequia en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero. Recuperado el 12 de Junio de [https://www.researchgate.net/publication/235759730\\_Resistencia\\_genetica\\_a\\_estres\\_hidrico\\_por\\_sequia\\_en\\_variedades\\_de\\_papa\\_Solanum\\_tuberosum\\_L\\_bajo\\_invernadero](https://www.researchgate.net/publication/235759730_Resistencia_genetica_a_estres_hidrico_por_sequia_en_variedades_de_papa_Solanum_tuberosum_L_bajo_invernadero).
- Avila, M. (2015). Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado el 18 de Abril del 2019 de <http://minagri.gob.pe/portal/objetivos/47-sector-agrario/recurso-biodiversidad/347-diversidad-genetica>
- Baker, N. (2004). OPTI-SCIENCES. Recuperado el 8 de Mayo del 2019 de <http://pdf.agriexpo.online/es/pdf-en/opti-sciences-inc/os30p-chlorophyll-fluorometer/176836-4349.html#open>
- Barrios, (2014). Relación Biomasa Recuperado el 5 de Mayo del 2019 de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v32n3/2395-8030-tl-32-03-00221.pdf>
- Barrios y Ritchie. (1998). El efecto de sequía en el crecimiento, la fotosíntesis y la intercepcion de luz. Recuperado el 12 de Mayo de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/19463/19539>
- Bonifaz y Leon. (2018). Pastos y Forrajes del Ecuador. Quito, Ecuador. Ediciones UPS.

- Bonilla, O. (2012). Evaluacion y selección agronomica de 18 genotipos de papa solanum tuberosum para la tolerancia al deficit hidrico en tres localidades de la sierra central. Recuperado el 20 de Junio de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3692/6/UPS-YT00128.pdf>
- Bolivar, (2012). INHAMI. Clima efecto invernadero Recuperado el 25 de Mayo del 2019 de [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/articulosINAMHI/Efecto\\_invernadero\\_y\\_cambio\\_climatico\\_04-2012.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/articulosINAMHI/Efecto_invernadero_y_cambio_climatico_04-2012.pdf)
- Cabassa, Abraham, Erdei y Szabados. (2010). Methods for determination of proline in plants. Recuperado el 2 de Junio de [https://www.researchgate.net/publication/43132146\\_Methods\\_for\\_Determination\\_of\\_Proline\\_in\\_Plants](https://www.researchgate.net/publication/43132146_Methods_for_Determination_of_Proline_in_Plants)
- Camacho, A. (2017). Instrumentos de Medicion. Recuperado el 5 de Mayo del 2019 de <https://docplayer.es/19846859-Precios-validos-a-partir-del-15-de-enero-del-2016-todos-los-catalogos-precios-anteriores-pierden-su-validez-esp.html>
- Carillo y Gibon, (2011). Protocol: extraction and determination of proline. Recuperado el 19 de junio de [https://www.researchgate.net/publication/211353600\\_PROTOCOL\\_Extraction\\_and\\_determination\\_of\\_proline](https://www.researchgate.net/publication/211353600_PROTOCOL_Extraction_and_determination_of_proline)
- Castellanos, D. (2013). Ecuador: Sequía deja agricultores con dificultades financieras. Recuperado el 19 de Junio del 2019 de <https://www.ifrc.org/es/noticias/noticias/americas/ecuador/ecuador-sequía-deja-agricultores-con-dificultades-financieras/>
- Checa, F. (2016). Factores Abióticos que son y ejemplos . Recuperado el 3 de abril del 2019 de <https://ecosistemas.ovacen.com/biotopo/abióticos/>

- CIP. (2014). Centro Internacional de la Papa. Recuperado el 22 de mayo del 2019 de <https://cipotato.org>
- CIP. (2015). Plagas y Enfermedades de la papa . Recuperado el 19 de abril del 2019 de <https://cipotato.org/es/lapapa/plagas-y-enfermedades-de-la-papa/>
- Suancha, J. (2015). Fluorescencia como indicador de estrés en *Helliantus annuus*. Rcuperado el 22 de junio de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiH1uqh4oXjAhXOjFkKHRgCDq8QFjAAegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.scielo.org.co%2Fpdf%2Frcch%2Fv9n1%2Fv9n1a13.pdf&usg=AOvVaw3y6A\\_jy\\_Ap8LC5F1vz8nHwg](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiH1uqh4oXjAhXOjFkKHRgCDq8QFjAAegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.scielo.org.co%2Fpdf%2Frcch%2Fv9n1%2Fv9n1a13.pdf&usg=AOvVaw3y6A_jy_Ap8LC5F1vz8nHwg)
- Cuesta, X., Andrade, H., Bastidas, O., & Sherwood, S. (2002). Botánica y Mejoramiento Genético de la Papa. Quito: INIAP.
- Díaz, V. (2016). Evaluacion de la tolerancia al estrés hidrico en genotipos de papa criolla. Recuperado el 20 de Junio de <http://bdigital.unal.edu.co/51030/1/43996958.2016.pdf>
- Díaz y Borsani. (2018). Acumulacion de prolina en plantas en respuesta al estrés osmotico. Recuperado el 30 de mayo del 2019 de <http://www.fagro.edu.uy/~agrociencia/index.php/directorio/article/view/597>
- Egúsquiza, B. (2000). La papa: Producción, transformacion y comercializacion. Lima-Peru. CIMAGRAF. Recuperado de: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=6ciGbBX0uFwC&oi=fnd&pg=PA167&dq=tiempo+optimo+de+cosecha+en+papas&ots=3b-4YUY2I0&sig=FlvjBitQ0EhXTgl7lZDwDsYZdVs#v=onepage&q&f=false>
- Escusa, (2016). Definicion de Cambio Climatico Recuperado el 12 de Mayo del 2019 de <https://mansunides.org/es/definicion-cambioclimatico>

- FAO. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Recuperado el 3 de junio del 2019 de <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>
- FAO. (2016). Perspectivas a largo plazo en la agricultura Recuperado el 2 de Mayo del 2019 de <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s06.htm>
- FAO. (2017). Perfil del mercado de papa fresca. Recuperado el 13 de Abril del 2019 de [https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss\\_mercados\\_agropecuarios/areas/hortalizas/\\_archivos/000030\\_Informes/000998\\_Perfil%20de%20Mercado%20de%20Papa%20Fresca%202016.pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/hortalizas/_archivos/000030_Informes/000998_Perfil%20de%20Mercado%20de%20Papa%20Fresca%202016.pdf)
- FAO. (2017). FAOSTAT. Recuperado el 12 de junio del 2019 de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FAOSTAT. (2019). Crops. Recuperado el 7 de abril del 2019 de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Farias y Calderon (1996). Estimacion de la evapotranspiracion real de un cultivo usando la ecuacion de penman-monteih. Recuperado el 29 de mayo de <https://rcia.uc.cl/index.php/rcia/article/view/1000/857>
- Ferrer, S. (2019). LABFERRER. Recuperado el 25 de Mayo del 2019 de <https://www.labferrer.com/sensores/instrumentacion-y-sensores/porometro-conductancia-estomacica.html>
- Fisher y Yates, (1971). Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research. 6th Ed. Oliver & Boyd, Edinburgh and London 1963. X, 146 P. Preis 42 s net.
- Flores, R. (2008). Ecología y Medio Ambiente . Recuperado el 18 de Abril del 2019 de [https://books.google.es/books?id=RrggjB9p970C&pg=PA28&dq=factores+bióticos&hl=es&ei=ArAsTIPFBIGlsQaSobDgAg&sa=X&oi=book\\_result&ct=result#v=onepage&q=factores%20bióticos&f=false](https://books.google.es/books?id=RrggjB9p970C&pg=PA28&dq=factores+bióticos&hl=es&ei=ArAsTIPFBIGlsQaSobDgAg&sa=X&oi=book_result&ct=result#v=onepage&q=factores%20bióticos&f=false)

- Fonseca y Lozano, (2015). Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. Recuperado el 15 de Junio de <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v65n1/v65n1a07.pdf>
- Fulgueira, A. (2002). Temperaturas y Producción. Recuperado el 28 de abril del 2019 de <http://www.infojardin.net/glosario/dren/edafico.htm>
- Gerald, C. (2009). Cambio Climático El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Recuperado el 23 de Abril del 2019 de [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf)
- Glick, B. Pasternak, J. Patten, C. (2010). Biotecnología Molecular. Principios y aplicaciones del ADN recombinante. Parte I: Fundamentos de la biotecnología molecular. Canada:ASM Press.
- Gonzaga L, (2014). Funciones de aminoácidos en plantas. Recuperado el 25 de Junio de <https://es.slideshare.net/gladysjannetnoarayme/funciones-de-20-aminoacidos-en-lasplantas>
- Graf, P (2004). Potencial Hídrico y su importancia. Recuperado el 12 de junio de <https://www.agro.uba.ar/users/batista/EE/papers/potencial%20hidrico.pdf>
- Guzman, A. (2015). Factores que limitan la productividad y rendimiento del cultivo de papa . Recuperado el 3 de Abril del 2019 de [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1447/FACTORES%20QUE%20LIMITAN%20LA%20PRODUCTIVIDAD%20Y%20RENTABILIDAD%20DEL%20CULTIVO%20DE%20PAPA%20\(Solanum%20tuberosum%20L.\)..pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1447/FACTORES%20QUE%20LIMITAN%20LA%20PRODUCTIVIDAD%20Y%20RENTABILIDAD%20DEL%20CULTIVO%20DE%20PAPA%20(Solanum%20tuberosum%20L.)..pdf?sequence=1)
- Hernandez, L. (2002). Introducción al análisis instrumental. Editorial Ariel, 2002. ISBN 8434480433. Pág. 105.

- IBERICA. (2019). MCL502, MC502DL. Recuperado el 13 de mayo del 2019 de <http://www.gisiberica.com/MEDIDOR%20DE%20CLOROFILA/MCL502.htm>
- IFRC. (2019). Sequías. Recuperado el 3 de Mayo del 2019 de <https://www.ifrc.org/es/introduccion/disaster-management/sobre-desastres/definicion--de-peligro/sequias/>
- INEC, (2016). Censo agropecuario. Recuperado el 22 de mayo del 2019 de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-nacional-agropecuario/>
- INIA. (2014). La sequía como factor limitante del rendimiento y calidad de la papa fue estudiada por el INIA. Recuperado el 13 de Abril del 2019 de <https://www.potatopro.com/es/news/2014/la-sequ%C3%ADa-como-factor-limitante-del-rendimiento-y-calidad-de-la-papa>.
- Jimenez, A. (2003). Variacion de la actividad del fotosistema II en plantas después de sequía. Recuperado el 8 de Junio del 2019 de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjxwcSw4rLiAhUPXK0KHX9FBpwQFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fsecforestales.org%2Fpublicaciones%2Findex.php%2Fcongresos\\_forestales%2Farticle%2Fdownload%2F16233%2F16076&usg=AOvVaw0ED\\_Do4Ny-GpB0bYyD7IWD](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjxwcSw4rLiAhUPXK0KHX9FBpwQFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fsecforestales.org%2Fpublicaciones%2Findex.php%2Fcongresos_forestales%2Farticle%2Fdownload%2F16233%2F16076&usg=AOvVaw0ED_Do4Ny-GpB0bYyD7IWD)
- Ledent y Rojas, (2014). Efecto de la sequia en la morfologia, crecimiento y productividad de genotipos de papa. Recuperado el 18 de junio de
- MAGAP, (2013). Importancia del cultivo de papa en Ecuador Recuperado el 28 de Mayo del 2019 de <https://www.agricultura.gob.ec>
- Manejo Integrado del cultivo de papa. [http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/Cultivo\\_de\\_papa\\_manual.pdf](http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/Cultivo_de_papa_manual.pdf)

- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2008). Informe de rendimientos de papa en el Ecuador 2017. Recuperado el 14 de Abril del 2019 de [http://sipa.agricultura.gob.ec/biblioteca/rendimientos/Informe%20\\_papa%20\\_2017.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/biblioteca/rendimientos/Informe%20_papa%20_2017.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2008). Informe de rendimientos de papa en el Ecuador 2018. Recuperado el 14 de abril del 2019 de <http://fliphtml5.com/ijia/tlcp>
- MONSANTO. (2018). La sequía en la agricultura . Recuperado el 4 de Abril del 2019 de <http://www.monsantoglobal.com/global/ar/noticias-y-opiniones/pages/sequía-y-agricultura.aspx>
- Morillo, F. (2018). Comportamiento postcosecha en 3 variedades de papa. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8062/1/03%20EIA%20457%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- MTE. (2019). Tipos de Sequía. Recuperado el 15 de Mayo del 2019 de [https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequía/que-es-la-sequía/Observatorio\\_Nacional\\_Sequía\\_1\\_1\\_tipos\\_sequía.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequía/que-es-la-sequía/Observatorio_Nacional_Sequía_1_1_tipos_sequía.aspx)
- ONU, 2017. Lucha contra la desertificación y la Sequía. Recuperado el 18 de Junio del 2019 de <https://www.un.org/es/events/desertificationday/>
- Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17588/37339>
- Orrillo y Merideth, (2009). Biología reproductiva y citogenética de la papa . Recuperado el 20 de Abril del 2019 de [https://research.cip.cgiar.org/confluence/download/attachments/14942278/Manual\\_Citologia\\_2009-04-17%20BB.pdf](https://research.cip.cgiar.org/confluence/download/attachments/14942278/Manual_Citologia_2009-04-17%20BB.pdf)
- Ovalle, J. (2013). Alternativas para sequía, equipo de Scholander. Recuperado el 14 de Junio del 2019 de <https://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Noticias/2013/07/15/Como-determinar-el-estrés-hídrico-en-la-vid.aspx>

- Pascualini, J. (2018). Cuales son las alternativas para el cultivo de papa. Recuperado el 21 de Mayo del 2019 de <http://boletines.agroserviciosdelsudeste.com/boletin-tecnico-informativo-n2/>
- Perez y Garcia (2010). Conductancia estomatica y asimilacion neta de CO2 bajo sequía. Recuperado el 15 de Junio del 2019 de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802010000400008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000400008)
- Pino, M. (2016). Estrés Hidrico y termico en papas avances y protocolos. Santiago-Chile. Salesianos Impresores S.A. Recuperado el 4 de Mayo deñl 2019 de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40460.pdf>
- Prakash, A. (2008). La economía mundial de la papa. Recuperado el 6 de abril del 2019 de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/economia.html>
- Pumisacho y Sherwood, (2002). El Cultivo de la papa en el Ecuador. Recuperado el 4 de Abril del 2019 de <http://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- Rodriguez, M. (2013). Ecuador:Factores que contribuyen a la producción de la papa. Recuperado el 17 de Abril del 2019 de <http://www.pichinchaldía.gob.ec/tutorials/reportajes/item/96-ecuador-factores-que-contribuyen-a-la-productividad-de-la-papa.html>
- Rodriguez, R. (2019). AgroPrecision. Recuperado el 9 de mayo del 2019 de <https://agroprecision.cl/#contacto>
- Rojas y Ledent. (2014). Efecto de la Sequía, crecimiento y productividad de genotipos de papa en Bolivia. Recuperado el 10 de Junio del 2019 de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5512054.pdf>
- Román y Hurtado, (2002). Guía Técnica del cultivo de papa. Recuperado el 3 de abril del 2019 de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Papa.pdf>

- Schwartz, J. (2018). Más inundaciones y sequías extremas a causa del cambio climático  
Recuperado el 24 de Mayo del 2019 de <https://www.nytimes.com/es/2018/12/14/cambio-climatico-inundaciones-sequias/>
- SIGMA-ALDRICH. (2019). Aplicaciones para la PCR. Recuperado el 4 de junio del 2019 de <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/p4600?lang=en&region=EC>
- Soriano, E. (2017). Mecanismos de protección frente al déficit hídrico reiterado en plantas.  
Recuperado de <https://www.tesisenred.net/handle/10803/404785>
- Suquilanda Valdivieso, M. 2011 . Producción orgánica de cultivos andinos . Quito, Ecuador:  
Publiasesores.
- Torres, W. (2017). La papa es el tercer cultivo transitorio más importante del Ecuador.  
Recuperado el 15 de Abril del 2019 de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/la-papa-es-el-tercer-cultivo-transitorio-mas-importante-del-ecuador>
- UNEP. (2012). Programa de las naciones unidas para el medio ambiente. Recuperado el 15 de Mayo del 2019 de <https://www.un.org/ruleoflaw/es/un-and-the-rule-of-law/united-nations-environment-programme/>
- Vasconcelos y Prado. (2014). Efecto del horario de medición y posición de la hoja en los índices de clorofila en la papa. Recuperado el 3 de Junio de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292014000400004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292014000400004)
- Vega, S., y Bamberg, J. 1995. Screening the U.S. potato collection for frost hardiness. American Potato Journal 72: p 13-21.
- Zeas y Escandon, (2010). Evaluación del rendimiento del cultivo de papa *Solanum tuberosum*. Variedad chaucha con el manejo fisionutricional frente al manejo tradicional en la hacienda San Patricio ubicada en la parroquia Tomebamba del cantón Paute provincia del

Azuay. Recuperado el 20 de junio de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3877/1/UPS-CT001967.pdf>

Zurita y Jimenez, (2013). Evaluación de densidades de siembra en papa nativa. Recuperado el 27

de Mayo del 2019 de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/18290>

## XII. Anexos

Tabla 7: Contenido volumétrico de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía

Tabla de Resumen - Contenido Volumétrico									
Genotipos	Antes	Después	Desviación 1	Desviación 2	Error 1	Error 2	Error relativo	Antes de Estrés	Después de Estrés
Carolina	0,488	0,14177778	0,0217409	0,02534551	0,00627606	0,00731662	5,16062508	100	29,0528233
Cecilia	0,46544444	0,11966667	0,02917042	0,01228368	0,00842078	0,00354599	2,96322626	100	25,7101934
Fripapa	0,47377778	0,19844444	0,03888667	0,120488	0,01122561	0,03478189	17,5272679	100	41,8855535
Leona negra	0,476	0,12688889	0,02904785	0,01762224	0,00838539	0,0050871	4,00909919	100	26,6573296
Raymipapa	0,48011111	0,13911111	0,02387674	0,01828445	0,00689262	0,00527827	3,79428001	100	28,9747744
11 - 8 - 6	0,50322222	0,15177778	0,01335646	0,01122277	0,00385568	0,00323974	2,13452545	100	30,1611835
11 - 9 - 101	0,48622222	0,15566667	0,0226165	0,0159304	0,00652882	0,00459871	2,95420444	100	32,0155393
11 - 9 - 107	0,49722222	0,113	0,0135136	0,0186964	0,00390104	0,00539719	4,77627185	100	22,726257
11 - 9 - 108	0,48355556	0,10288889	0,01736607	0,0346264	0,00501315	0,00999578	9,71512193	100	21,2775735
11 - 9 - 27	0,50066667	0,15144444	0,01083205	0,01765793	0,00312694	0,00509741	3,36585812	100	30,2485575
11 - 9 - 44	0,47255556	0,11166667	0,03483967	0,01941935	0,01005735	0,00560588	5,02019387	100	23,6303786
11 - 9 - 66	0,50188889	0,14477778	0,01269685	0,01538237	0,00366526	0,00444051	3,06711954	100	28,8465796
11 - 9 - 106	0,48955556	0,13166667	0,02131307	0,02249444	0,00615255	0,00649359	4,93183791	100	26,895143
11 - 9 - 133	0,48188889	0,10677778	0,03284795	0,02419264	0,00948239	0,00698381	6,5405129	100	22,1581739
11-9-1	0,45066667	0,12855556	0,03059775	0,01266764	0,00883281	0,00365683	2,84455467	100	28,525641
11-9-112	0,46733333	0,11066667	0,02371123	0,01838478	0,00684484	0,00530723	4,79568775	100	23,6804565
11-9-150	0,49022222	0,13988889	0,06097864	0,03256598	0,01760302	0,00940099	6,72032599	100	28,5358114
11-9-172	0,44077778	0,10011111	0,04419597	0,02003022	0,01275828	0,00578223	5,77581006	100	22,7123771
11-9-175	0,48644444	0,12844444	0,03593547	0,02110351	0,01037368	0,00609206	4,74295161	100	26,404751
11-9-28	0,42822222	0,13977778	0,02507667	0,02056306	0,00723901	0,00593604	4,24677277	100	32,6414115
11-9-64	0,453	0,11566667	0,04407821	0,04438468	0,01272428	0,01281275	11,077309	100	25,5334805
11-9-77	0,497	0,14586667	0,02531578	0,03002828	0,00730804	0,00866842	5,94270016	100	29,3494299
11-9-8	0,48155556	0,13277778	0,05993906	0,03127931	0,01730292	0,00902956	6,80050411	100	27,5726811
11-9-9	0,45833333	0,12711111	0,05073241	0,01959844	0,01464519	0,00565758	4,45089468	100	27,7333333
12-4-173	0,51022222	0,16211111	0,04274154	0,03533159	0,01233842	0,01019935	6,29158011	100	31,7726481
12-4-37	0,43311111	0,10544444	0,01738738	0,01949422	0,0050193	0,0056275	5,33693092	100	24,3458184
14-9-56	0,44888889	0,11222222	0,04261832	0,01807256	0,01230285	0,0052171	4,64889882	100	25

Tabla 8: Conductancia estomática de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía

Tabla de Resumen . Conductancia Estomática									
Genotipos	Antes	Después	Desviacion 1	Desviacion 2	Error 1	Error 2	Error relativo	Antes del Estrés	Déspues del Estrés
Carolina	715,416667	529,566667	116,81543	252,25804	47,6896997	102,983914	19,446827	100	74,0221316
Cecilia	598,066667	320,2	109,690134	124,908713	44,7808098	50,9937687	15,9255992	100	53,5391818
Fripapa	433	497,116667	73,8697954	117,424861	30,1572177	47,9384989	9,64330953	100	114,807544
Leona negra	444,533333	484,45	38,5206294	51,3953224	15,7259811	20,9820525	4,33110796	100	108,979454
Raymipapa	431,083333	305,866667	88,8141771	32,9611724	36,258236	13,4563423	4,39941444	100	70,9530253
11 - 8 - 6	494,666667	532,833333	176,849358	157,009954	72,1984482	64,0990452	12,029849	100	107,715633
11 - 9 - 101	509,733333	425,833333	122,379787	133,677568	49,9613388	54,5736387	12,8157273	100	83,5404133
11 - 9 - 107	447,5	593,75	281,585375	164,293536	114,956748	67,072555	11,2964303	100	132,681564
11 - 9 - 108	582,933333	565,583333	140,934047	307,986961	57,5360837	125,73515	22,2310565	100	97,0236734
11 - 9 - 27	531,183333	606,083333	83,4916247	182,004244	34,085313	74,3029213	12,2595223	100	114,100593
11 - 9 - 44	637,333333	240,766667	115,397352	70,1203172	47,1107717	28,6264996	11,8897271	100	37,7771967
11 - 9 - 66	387,533333	320,133333	100,875677	133,03568	41,1823227	54,311589	16,9653027	100	82,6079477
11 - 9 -106	486,283333	455,116667	129,411957	110,867239	52,8322104	45,2613609	9,94500184	100	93,5908421
11 - 9-133	536,683333	557,25	181,031566	91,4591667	73,9058275	37,3380484	6,70041246	100	103,832179
11-9-1	335,566667	544,8	58,207636	93,0612701	23,7631679	37,9921044	6,97358745	100	162,35224
11-9-112	405,95	404,933333	134,365332	74,4918937	54,8544172	30,4111882	7,51017161	100	99,7495586
11-9-150	309,45	327,766667	99,2566832	25,773673	40,5213712	10,522058	3,2102282	100	105,919104
11-9-172	399,116667	283,916667	73,5930798	60,5721723	30,044249	24,7284858	8,70976899	100	71,1362592
11-9-175	450,266667	428,1	157,220977	64,1937172	64,185195	26,2069753	6,12169477	100	95,0769914
11-9-28	325,183333	327,383333	94,4368999	87,5428165	38,5537029	35,7392052	10,9166233	100	100,676541
11-9-64	185,6	196,933333	20,1966994	10,0483277	8,245268	4,10221259	2,08304634	100	106,106322
11-9-77	462,716667	536,583333	99,5885438	105,895789	40,6568528	43,2317747	8,05686126	100	115,963693
11-9-8	413,916667	361,6	117,370772	81,5983251	47,9164169	33,3123767	9,21249357	100	87,3605798
11-9-9	374,066667	388,5	68,8391765	27,7605235	28,1034761	11,3331863	2,91716506	100	103,858492
12-4-173	418,766667	259,466667	114,635432	73,9960735	46,7997191	30,2087705	11,6426402	100	61,959723
12-4-37	318,45	502,2	88,4606834	29,5469119	36,1139228	12,0624763	2,40192677	100	157,701366
14-9-56	291,433333	279,733333	69,0949508	75,8767568	28,2078955	30,9765562	11,0736021	100	95,9853597

Tabla 9: Fluorescencia de la clorofila de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía

Tabla de Resumen - Contenido de Fluorescencia									
Genotipos	Antes	después	Desviacion 1	Desviacion 2	error 1	error 2	Error Relativo	Antes del Estrés	Después del Estrés
Carolina	3,22658333	1,1735	0,35528685	0,75529161	0,10256248	0,21803391	18,5797961	100	36,369741
Cecilia	4,123	3,66708333	0,44822911	0,66832383	0,1293926	0,19292847	5,26108775	100	88,9421133
Fripapa	4,24616667	3,83458333	0,84007131	0,35666522	0,2425077	0,10296038	2,68504738	100	90,3069435
Leona negra	3,68483333	3,29358333	0,57922863	0,44470036	0,1672089	0,12837394	3,89769813	100	89,3821521
Raymipapa	4,14808333	3,83145833	0,48228837	0,41810193	0,13922466	0,12069563	3,15012253	100	92,3669566
11 - 8 - 6	4,24025	3,64625	0,6368701	0,61397654	0,18384856	0,17723976	4,86087787	100	85,991392
11 - 9 - 101	4,15533333	3,84375	0,48031974	1,07553716	0,13865637	0,31048084	8,07755018	100	92,5016044
11 - 9 - 107	4,282125	4,253	0,62818681	0,80827079	0,18134191	0,23332768	5,48619042	100	99,319847
11 - 9 - 108	4,70383333	3,96358333	0,29593266	0,68377634	0,0854284	0,19738923	4,98007003	100	84,2628353
11 - 9 - 27	4,508	4,45033333	0,3961233	0,53386115	0,11435095	0,15411244	3,46294146	100	98,7207927
11 - 9 - 44	4,22433333	3,66466667	0,31998368	0,79231289	0,09237133	0,22872103	6,24125063	100	86,7513612
11 - 9 - 66	4,05883333	3,95325	0,33037222	0,42229495	0,09537025	0,12190605	3,0836919	100	97,3986778
11 - 9 - 106	4,52735833	4,66933333	0,41263993	0,50021967	0,11911889	0,14440098	3,09253959	100	103,135935
11 - 9 - 133	4,14133333	3,9385	0,5878576	0,66944585	0,16969987	0,19325237	4,90675058	100	95,1022215
11-9-1	4,36716667	3,89525	0,75602831	0,32953278	0,21824657	0,09512792	2,44215185	100	89,1939854
11-9-112	4,23625	3,63566667	0,43620086	0,60261974	0,12592034	0,17396134	4,78485383	100	85,8227599
11-9-150	4,52416667	3,495	0,34533892	0,8375504	0,09969076	0,24177997	6,91788193	100	77,2517959
11-9-172	4,30725	3,92391667	0,59161532	0,28821562	0,17078463	0,08320068	2,12034785	100	91,1002767
11-9-175	4,32116667	4,06908333	0,79666763	0,41982287	0,22997813	0,12119242	2,97837164	100	94,1663131
11-9-28	3,86683333	3,87608333	0,5609973	0,58712328	0,16194597	0,16948789	4,3726586	100	100,239214
11-9-64	4,22891667	3,1295	0,49629048	0,80641196	0,14326672	0,23279108	7,43860301	100	74,0024041
11-9-77	4,48508333	3,95816667	0,30958075	0,31158782	0,08936827	0,08994766	2,27245755	100	88,2517976
11-9-8	4,355	3,47391667	0,4015468	0,74293623	0,11591658	0,21446722	6,1736431	100	79,7684654
11-9-9	4,15075	2,81191667	0,50983823	1,1702661	0,14717762	0,33782672	12,0141087	100	67,7447851
12-4-173	4,37108333	3,7875	0,49150508	0,4383968	0,14188529	0,12655425	3,34136644	100	86,6490001
12-4-37	4,38058333	3,58916667	0,48763963	0,50525205	0,14076944	0,1458537	4,06372059	100	81,9335324
14-9-56	4,33183333	3,24866667	0,42926445	0,86286899	0,12391797	0,24908882	7,66741702	100	74,9951906

Tabla 10: Contenido de clorofila de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía

Tabla de Resumen - Contenido de Clorofila									
Genotipos	Antes	después	Desviacion 1	Desviacion 2	error 1	error 2	Error Relativo	Antes del Estrés	Después del Estrés
Raymipapa	52,9444444	55,3333333	6,59041579	6,09188896	2,19680526	2,03062965	3,66981263	100	104,512067
Carolina	45,6333333	32,7444444	2,89980842	3,38825131	0,96660281	1,1294171	3,44918694	100	71,7555393
Cecilia	47,5666667	44,8777778	4,63009479	4,85793229	1,54336493	1,61931076	3,6082686	100	94,3471152
Fripapa	47,1222222	45,8	4,40877352	4,6197643	1,46959117	1,53992143	3,36227387	100	97,194058
Leona negra	48,7444444	56,7222222	3,26296086	6,54111404	1,08765362	2,18037135	3,84394557	100	116,366537
11 - 8 - 6	48,3777778	48,8444444	2,97985003	3,038315	0,99328334	1,01277167	2,07346337	100	100,96463
11 - 9 - 101	47,8777778	46,6333333	2,31554063	3,82244831	0,77184688	1,27414944	2,73227185	100	97,400789
11 - 9 - 107	44,2333333	43,7222222	3,56962494	3,87893965	1,18987498	1,29297988	2,95726022	100	98,8445114
11 - 9 - 108	47,0555556	52,3222222	4,30996548	14,6290258	1,43665516	4,87634192	9,31982954	100	111,192444
11 - 9 - 27	44,7666667	46,0666667	3,71244154	3,85198362	1,23748051	1,28399454	2,78725298	100	102,903946
11 - 9 - 44	50,1888889	50,4555556	3,58746102	16,2244747	1,19582034	5,40815824	10,7186576	100	100,531326
11 - 9 - 66	46,4888889	44,4111111	2,81679268	2,93312289	0,93893089	0,97770763	2,20149329	100	95,5305927
11 - 9 - 106	47,2444444	46,6	3,75828303	3,4724311	1,25276101	1,15747703	2,4838563	100	98,635936
11 - 9 - 133	48,2555556	51,2444444	4,92321284	6,79200692	1,64107095	2,26400231	4,4180444	100	106,193875
11-9-1	47,0777778	49,3333333	7,32116836	5,71547607	2,44038945	1,90515869	3,86180815	100	104,791126
11-9-112	51,1666667	44,8	3,35592345	5,23365179	1,11864115	1,7445506	3,89408616	100	87,5570033
11-9-150	52,4111111	45,8	4,52731081	4,64279609	1,5091036	1,5475987	3,37903646	100	87,3860505
11-9-172	47,5777778	55,3222222	4,40120634	4,79253535	1,46706878	1,59751178	2,88764934	100	116,27744
11-9-175	49,1222222	46,0666667	4,58227934	2,89175072	1,52742645	0,96391691	2,09243902	100	93,7796879
11-9-28	49,6555556	52,1666667	6,56710846	3,92315066	2,18903615	1,30771689	2,50680553	100	105,05706
11-9-64	48,8666667	45,9888889	4,02464629	8,11848979	1,34154876	2,70616326	5,88438497	100	94,1109595
11-9-77	56,0333333	56,3222222	3,79853773	4,48052025	1,26617924	1,49350675	2,65171844	100	100,515566
11-9-8	51,4333333	42,6	6,10464304	4,26171588	2,03488101	1,42057196	3,33467596	100	82,8256643
11-9-9	45,4666667	43,2111111	5,52670285	5,80468095	1,84223428	1,93489365	4,4777688	100	95,0391007
12-4-173	46,9777778	38,9111111	4,62547962	2,02179483	1,54182654	0,67393161	1,73197729	100	82,8287606
12-4-37	45,8222222	45,6777778	3,45117622	5,84765438	1,15039207	1,94921813	4,26732258	100	99,6847721
14-9-56	48,4666667	45,6333333	3,49221356	5,79865885	1,16407119	1,93288628	4,23568944	100	94,1540578

Tabla 11: Potencial hídrico de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía

Tabla de Resumen - Potencial Hídrico										
Genotipos	Antes	Después	Desviacion 1	Desviacion 2	Error 1		Error 2	Error relativo	Antes del Estrés	Después del Estrés
Carolina	3,5	3,4	0,04082483	0,75117685	0,02357023	1,16642369	0,53116225	15,622419	100	97,1428571
Cecilia	3,55	2,94666667	0,10801234	0,12684198	0,06236096	3,04260127	0,08969083	3,04380635	100	83,0046948
Fripapa	3,65333333	3,57	0,59611707	0,48710026	0,34416835	16,317073	0,3444319	9,64795236	100	97,7189781
Leona negra	2,89666667	2,76666667	0,22866764	0,32998316	0,13202132	7,89416473	0,23333333	8,43373494	100	95,5120829
Raymipapa	3,24	2,34666667	0,25664502	0,25837097	0,14817407	7,92114262	0,18269586	7,785335	100	72,4279835
11 - 8 - 6	2,93333333	2,94666667	0,14337209	0,49398605	0,08277591	4,88768481	0,34930089	11,8541026	100	100,454545
11 - 9 - 101	3,53333333	1,85333333	0,31710496	0,4669285	0,18308063	8,97466867	0,33016831	17,8148367	100	52,4528302
11 - 9 - 107	2,83	5,00333333	0,14764823	0,625	0,08524475	5,21725196	0,44194174	8,83294613	100	176,796231
11 - 9 - 108	3,1	2,61	0,22730303	0,47770284	0,13123346	7,33235575	0,33778692	12,9420274	100	84,1935484
11 - 9 - 27	3,55	3,73333333	0,32403703	0,12	0,18708287	9,1278038	0,08485281	2,27284323	100	105,164319
11 - 9 - 44	3,58	2,21	0,30210373	0,11045361	0,17441967	8,43865181	0,0781025	3,53404963	100	61,7318436
11 - 9 - 66	2,41666667	3,19666667	0,04714045	0,14290634	0,02721655	1,9506394	0,10105004	3,16110665	100	132,275862
11 - 9 - 106	3,45	4,575	0,35355339	0,545	0,20412415	10,2479244	0,3853732	8,42345783	100	132,608696
11 - 9 - 133	3,06	2,53333333	0,27178423	0,23570226	0,1569147	8,88183752	0,16666667	6,57894737	100	82,788671
11-9-1	2,76	3,11333333	0,12192894	0,55864916	0,07039571	4,41771526	0,39502461	12,6881567	100	112,801932
11-9-112	3,16666667	2,96	0,12472191	0,68644009	0,07200823	3,93858672	0,48538644	16,3981907	100	93,4736842
11-9-150	2,51666667	3,73333333	0,24608038	0,08498366	0,14207458	9,77802852	0,06009252	1,60962111	100	148,344371
11-9-172	2,48666667	3,47666667	0,46942045	0,37383894	0,27102002	18,8774978	0,26434405	7,60337637	100	139,812332
11-9-175	2,69666667	3,18333333	0,38560198	0,66243658	0,22262741	14,2992083	0,4684134	14,714557	100	118,046972
11-9-28	3,4	2,42666667	0,16329932	0,58088056	0,0942809	4,80292106	0,41074458	16,9262877	100	71,372549
11-9-64	3,3	2,95	0,16329932	0,40570926	0,0942809	4,94846413	0,28687977	9,72473782	100	89,3939394
11-9-77	3,29333333	2,71666667	0,2917	0,37043518	0,16841307	8,85728739	0,26193723	9,64186113	100	82,4898785
11-9-8	2,71	2,52666667	0,85568686	0,75790647	0,49403104	31,5751608	0,53592081	21,210586	100	93,2349323
11-9-9	3,01666667	4,08333333	0,37043518	0,39651258	0,21387085	12,2796192	0,28037673	6,86636891	100	135,359116
12-4-173	2,61	3,75	0,57277104	0,39149287	0,33068952	21,9452507	0,27682726	7,38206034	100	143,678161
12-4-37	3,13333333	2,45	0,26246693	0,49497475	0,15153535	8,37660412	0,35	14,2857143	100	78,1914894
14-9-56	2,51666667	3,28333333	0,32744805	0,29533409	0,18905222	13,0111806	0,20883273	6,36038786	100	130,463576

Tabla 12: Contenido de prolina de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía

Tabla de Resumen - Contenido de Prolina									
Genotipos	Antes	Después	Desviacion 1	Desviacion 2	error 1	error 2	Error Relativo	Antes de Estrés	Después de Estrés
Carolina	5,72874085	14,9493847	1,03051506	5,00088227	0,46086035	2,23646254	14,9602314	100	260,95411
Cecilia	0,91993217	30,7885955	0,62980147	7,68723801	0,20993382	2,56241267	8,32260331	100	3346,83324
Fripapa	2,44763949	37,6637464	0,65402785	9,20259866	0,23123376	3,25360996	8,63857228	100	1538,77834
Leona negra	1,94035173	18,8516422	0,95139549	4,31087429	0,425477	1,92788159	10,2265976	100	971,557985
Raymipapa	4,10070126	54,3223349	1,1844374	16,0002596	0,48354454	6,53207862	12,0246647	100	1324,70842
11 - 8 - 6	4,46334	14,1940033	1,77418064	2,58123391	0,88709032	1,29061696	9,09269168	100	318,013042
11 - 9 - 101	2,01214889	15,5420642	0,30897025	6,44447987	0,11677978	2,43578444	15,6722068	100	772,411241
11 - 9 - 107	7,02632176	23,4309126	2,99485546	7,00113503	1,33934008	3,13100277	13,3627009	100	333,473379
11 - 9 - 108	3,01329442	32,9363883	0,60582499	9,25664814	0,24732702	3,77901078	11,4736647	100	1093,03585
11 - 9 - 27	2,06642524	24,435983	0,91173471	5,85059829	0,40774016	2,6164671	10,7074354	100	1182,52442
11 - 9 - 44	1,88412763	31,9370614	0,59639134	8,0463022	0,21085618	2,84479742	8,90751154	100	1695,05828
11 - 9 - 66	3,9566265	9,52922775	1,8347476	1,25491056	0,82052407	0,56121306	5,88938663	100	240,842236
11 - 9 - 106	3,40874777	17,1078418	1,03583328	4,77076374	0,42287717	1,94765614	11,3845812	100	501,880544
11 - 9 - 133	6,39591948	35,2970338	1,67661998	11,6403842	0,63370279	4,39965167	12,4646499	100	551,868013
11-9-1	4,81584938	33,6558806	1,03104463	4,61451104	0,42092221	1,88386624	5,5974356	100	698,856586
11-9-112	6,51520373	65,2481561	1,57650278	4,48809318	0,78825139	2,24404659	3,43924905	100	1001,4753
11-9-150	3,15526414	11,5985466	1,79376408	4,11980414	0,80219568	1,84243242	15,8850284	100	367,593523
11-9-172	0,39740553	32,4237281	0,31515067	5,8615713	0,11142259	2,07237841	6,39154882	100	8158,85185
11-9-175	1,46841877	43,5971554	0,68467681	7,12671647	0,27951814	2,90946981	6,67353131	100	2968,98652
11-9-28	2,17492564	18,4066735	1,35840073	10,6966429	0,55456478	4,36688616	23,7244723	100	846,312773
11-9-64	1,48588132	12,3874764	0,53967472	4,64855933	0,22032128	1,8977664	15,3200405	100	833,678724
11-9-77	5,5521569	31,2233226	1,70433968	6,43774595	0,64417985	2,43323925	7,79301832	100	562,363838
11-9-8	6,98087023	26,7882787	1,18452186	5,59992218	0,48357902	2,28615866	8,53417529	100	383,738385
11-9-9	3,33659888	14,9546077	0,95869354	4,43636987	0,47934677	2,21818494	14,8327859	100	448,199146
12-4-173	2,83919147	16,7470059	0,62055456	6,00439371	0,25334034	2,45128347	14,6371446	100	589,851234
12-4-37	7,37016848	19,3327405	2,98890214	7,51570545	1,22021419	3,0682739	15,8708689	100	262,310699
14-9-56	8,98309349	42,7701579	1,10349747	5,96900722	0,49349907	2,66942118	6,24131711	100	476,118365

Tabla 13: Resiliencia de los veintisiete genotipos de papa expuestos a sequía

Genotipos	Producción (Kg/planta)	Turgencia Sequía (%)	Rendimiento (Kg/Planta)	Turgencia Sequía (%)	Total
Raymi Papa	0,38	70	2	2	4
12-4-173	0,34	70	2	2	4
Cecilia	0,16	70	1	2	3
Fripapa	0,36	61	2	1	3
Leona Negra	0,27	73	1	2	3
11-9-1	0,36	62	2	1	3
11-9-133	0,38	57	2	1	3
11-9-28	0,31	62	2	1	3
11-8-6	0,11	71	0	2	2
11-9-106	0,16	64	1	1	2
11-9-107	0,19	63	1	1	2
11-9-112	0,24	59	1	1	2
11-9-150	0,18	58	1	1	2
11-9-172	0,34	53	2	0	2
11-9-175	0,28	65	1	1	2
11-9-27	0,11	70	0	2	2
11-9-44	0,15	56	1	1	2
11-9-64	0,17	59	1	1	2
11-9-66	0,12	75	0	2	2
11-9-77	0,25	64	1	1	2
11-9-8	0,28	64	1	1	2
12-4-37	0,23	60	1	1	2
14-9-56	0,18	65	1	1	2
Carolina	0,15	66	0	1	1
11-9-101	0,15	57	0	1	1
11-9-108	0,14	56	0	1	1
11-9-9	0,27	48	1	0	1

