

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**“EFICIENCIA DE USO DE AGUA EN QUINCE GENOTIPOS DE  
PAPA (*Solanum tuberosum* L.) BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS  
HÍDRICO POR SEQUÍA”.**

**Presentado por:**

**FLAVIO LOZANO ISLA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRONOMO**

**Lima – Perú**

**2015**

# Índice

**Dedicatoria**

**Agradecimientos**

**Resumen**

**Abstract**

**Índice**

<b>I. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>II. Revisión de literatura</b>	<b>2</b>
1. El cultivo de la papa . . . . .	2
2. Importancia del cultivo . . . . .	2
3. Morfología de la papa . . . . .	2
4. Requerimientos agronómicos de la papa . . . . .	6
4.1. Suelo . . . . .	6
4.2. Agua . . . . .	6
4.3. Clima . . . . .	6
5. Estrés hídrico . . . . .	7
5.1. Estrategias frente al estrés hídrico . . . . .	7
6. Sequía . . . . .	10
7. El efecto del agua en el rendimiento del cultivo de la papa . . . . .	11
<b>III. Materiales y Métodos</b>	<b>13</b>
1. Material biológico . . . . .	13
2. Trabajos en invernadero . . . . .	13
2.1. Localización . . . . .	13
2.2. Condiciones ambientales . . . . .	14
3. Metodología de sequía regulada . . . . .	14
3.1. Desinfección de materiales . . . . .	14
3.2. Preparación de sustrato . . . . .	14
3.3. Siembra de tubérculos . . . . .	15

3.4.	Tratamiento de riego . . . . .	15
4.	Diseño y análisis estadístico . . . . .	16
5.	VARIABLES EVALUADAS EN EL EXPERIMENTO . . . . .	17
5.1.	Componentes del rendimiento . . . . .	17
5.2.	Potencial osmótico . . . . .	17
5.3.	Transpiración Total . . . . .	18
5.4.	Área foliar . . . . .	18
5.5.	Eficiencia de uso de agua . . . . .	19
5.6.	Contenido relativo de agua . . . . .	19
5.7.	Contenido relativo de clorofila . . . . .	20
5.8.	Índice de tolerancia a la reducción de agua . . . . .	20
<b>IV.</b>	<b>Resultados y discusiones</b>	<b>22</b>
1.	Clones con tolerancia al estrés por sequía en base al rendimiento . . . . .	22
2.	Contenido Relativo de Clorofila . . . . .	24
3.	Interacción del agua en la célula . . . . .	26
4.	Transpiración total y área foliar . . . . .	28
5.	Eficiencia de Uso de Agua en la biomasa y tubérculos . . . . .	30
6.	Eficiencia de Uso de Agua en tubérculos e índice de Cosecha . . . . .	32
<b>V.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>36</b>
<b>VI.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>36</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>37</b>
	<b>Anexos</b>	<b>42</b>
	<b>Anexo A. Partición de la biomasa total</b>	<b>42</b>
	<b>Anexo B. Análisis de componentes principales</b>	<b>43</b>
	<b>Anexo C. Tabla de correlación de Pearson</b>	<b>44</b>
	<b>Anexo D. Análisis de variancias (ANVA)</b>	<b>46</b>
1.	SPAD 29 días después de la siembra . . . . .	46

2.	SPAD 83 días después de la siembra . . . . .	46
3.	Contenido Relativo de Agua . . . . .	47
4.	Potencial Osmótico . . . . .	48
5.	Transpiración Total . . . . .	49
6.	Área Foliar . . . . .	50
7.	Eficiencia de uso de agua en tubérculos . . . . .	51
8.	Eficiencia de uso de agua en la Biomasa . . . . .	51
9.	Biomasa . . . . .	52
10.	Peso seco de Hojas . . . . .	53
11.	Peso Seco de Tallos . . . . .	54
12.	Peso Seco de Raíz . . . . .	55
13.	Peso Seco de Tubérculo . . . . .	55
14.	Índice de cosecha . . . . .	56
15.	Tolerancia a la reducción de agua . . . . .	57

## Índice de figuras

1.	Tres respuestas posibles ante el estrés hídrico: escapar, evitación y/o tolerancia.	8
2.	Etapas de desarrollo de la papa. . . . .	12
3.	Información agronómica de los 15 genotipos evaluados . . . . .	13
4.	Fracción transpirable del suelo durante el tratamiento de sequía controlada . . .	16
5.	Distribución espacial del experimento con el diseño de parcelas divididas dentro del invernadero . . . . .	17
6.	Selección de clones en base al peso seco de tubérculos e índice de tolerancia al estrés . . . . .	22
7.	Rendimiento de los genotipos en peso seco . . . . .	23
8.	Contenido Relativo de Clorofila a los a los 29 DDS. . . . .	25
9.	Contenido Relativo de Clorofila a los a los 83 DDS. . . . .	25
10.	Contenido relativo de agua . . . . .	27
11.	Potencial osmótico . . . . .	27
12.	Área Foliar . . . . .	29
13.	Transpiración Total . . . . .	29

14.	Eficiencia de uso de agua en tubérculos . . . . .	31
15.	Eficiencia de uso de agua en biomasa . . . . .	31
16.	Clones con tolerancia al estrés por sequía en base a la eficiencia de uso de agua	33
17.	Clones con tolerancia al estrés por sequía en base al índice de cosecha . . . . .	33
18.	Transpiración e Índice de Cosecha . . . . .	34
19.	Partición de la biomasa total por tratamiento y genotipo . . . . .	42
20.	Análisis de componentes principales para las variables en estudio . . . . .	43
21.	Análisis de componentes principales para los genotipos en estudio . . . . .	44

## **Índice de cuadros**

1.	Clasificación de la respuesta de las plantas ante el déficit hídrico. . . . .	9
2.	Los principales mecanismos de tolerancia (TOL) o evitación (EVI) del déficit hídrico. . . . .	10
3.	Localización geográfica . . . . .	14
4.	Análisis de sustrato . . . . .	15

## Resumen

La papa (*Solanum tuberosum L.*) es un cultivo sensible a la sequía debido a que posee un sistema radicular poco profundo y requiere disponibilidad constante de agua en el suelo para asegurar su máximo rendimiento y calidad en el tubérculo. La eficiencia de uso de agua (EUA) se define como la producción por unidad de agua consumida, esta variable es considerada importante para determinar el rendimiento bajo condiciones limitadas de agua. Si logramos entender la relación entre EUA y el rendimiento bajo condiciones de estrés puede ayudarnos a encontrar estrategias que nos ayuden a minimizar la pérdida de rendimiento debido a la disponibilidad de agua y asegurar una alta producción. Se llevó a cabo un experimento en invernadero con condiciones controladas, para caracterizar la respuesta y entender la relación entre la EUA, el rendimiento y la tolerancia en 15 genotipos de papa de la población avanzada de mejoramiento del Centro Internacional de la Papa (CIP). El experimento fue llevado a cabo bajo el diseño experimental de parcelas divididas teniendo como factor principal dos tipos de riego, sequía regulada y riego normal y como factor secundario los quince genotipos. A través del experimento se evaluaron variables morfológicas y fisiológicas tales como contenido relativo de clorofila (SPAD), contenido relativo de agua (CRA), Potencial Osmótico (PO), Área foliar (AF), transpiración y parámetros de rendimiento tales como el peso de la biomasa, Índice de Cosecha (IC) e Índice de tolerancia a la reducción de agua (TRA). Los resultados de la investigación muestran diferencias significativas entre tratamientos, y en general las plantas sometidas a limitaciones de agua muestran un rendimiento menor, existiendo una reducción en la biomasa y el área foliar. Existe una correlación alta entre la EUA y el IC ( $r = 0.98$ ), indicando que este último puede ser una herramienta útil para la selección temprana de genotipos con buen rendimiento y tolerante al estrés por sequía. Los genotipos, CIP398190.89, CIP397077.16, CIP392797.22, CIP398208.620 mostraron una mayor eficiencia en el uso de agua bajo condiciones de sequía sin que esto produzca una reducción drástica en su rendimiento.

**Palabras Claves:** Papa ; Eficiencia de uso de agua ; Índice de cosecha ; Tolerancia a la sequía.

## Abstract

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is a sensitive crop to drought because it has a shallow root system and requires constant availability of water in the soil to ensure maximum performance and quality in the tuber. The water use efficiency (EUA) is defined as production per unit of water consumed, this variable is considered important in determining the performance under limited water conditions. If we understand the relationship between the EUA and yield under stress conditions may help us find strategies that help to minimize the loss of yield due to water availability and ensure high production. It was performed an experiment in greenhouse with controlled conditions, to characterize the response and understanding the relationship between the EUA, performance and tolerance in 15 potato genotypes from advanced breeding population of the International Potato Center (CIP). The experiment was carried in a split plot experimental design with the main factor the two types of irrigation, drought and normal watering and as a secondary factor the fifteen genotypes. Through the experiment morphological and physiological variables were evaluated such as relative chlorophyll content (SPAD), leaf area (AF), transpiration and yield parameters such as the weight of biomass, harvest index (IC) and tolerance index (TRA). The research results show significant differences between treatments, plants subjected to water shortages show a lower yield, and there was a reduction in the biomass and leaf area. There was a high correlation enters the EUA and IC ( $r = 0.98$ ), indicating that the IC can be a useful tool for early selection of genotypes with good performance and tolerant to drought. Genotypes CIP398190.89, CIP397077.16, CIP392797.22, CIP398208.620 showed greater efficiency in the use of water under drought conditions without producing a drastic reduction in yield.

**Keywords** Potato — Water use efficiency — Harvest Index — Drought Tolerance

## **I. Introducción**

La papa es el tercer cultivo de mayor área sembrada en el mundo, y el Perú es uno de los mayores productores de papa en Latinoamérica. La papa representa el sustento de más de 600 mil pequeños productores de 19 regiones de nuestro país, debido a eso la importancia de su estudio bajo distintas condiciones medio ambientales.

Actualmente debido al cambio climático se ha producido una tendencia al uso de menos recursos para producir la misma cantidad de alimentos para una población cada vez mayor y que sigue en aumento. Los estudios de uso eficiente del agua son de suma importancia, debido a que dicho recurso comienza a ser cada vez más escaso, así mismo se presenta un aumento de temperatura en los distintos ecosistemas, por lo que se necesitan plantas que sean tolerantes y/o resistentes al calor y la sequía con rendimientos aceptables. Además, la papa es susceptible al estrés por sequía, lo que conlleva a la merma en los rendimientos y calidad del tubérculo.

Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar distintos parámetros fisiológicos y morfológicos para relacionarlo con la eficiencia de uso de agua y el rendimiento del cultivo e identificar y seleccionar los genotipos de papa que presenten tolerancia al estrés hídrico por sequía con rendimientos aceptables.

Para evaluar la eficiencia de uso de agua en los 15 genotipos de estudio, se utilizó la metodología del lisímetro, que permite calcular la transpiración o consumo de agua neta de las plantas. Durante el desarrollo del experimento se realizaron evaluaciones morfológicas y fisiológicas para observar los mecanismos que utiliza la planta para tolerar el estrés por sequía. Los datos extraídos se correlacionaron con el rendimiento para determinar cuales de las variables presentan mayor respuesta a la sequía.

## II. Revisión de literatura

### 1. El cultivo de la papa

Según MINAG (2014), la papa es el principal cultivo del país en superficie sembrada y representa el 25 % del PBI agropecuario. Además, es la base de la alimentación de la zona andina y es producido por 600 mil pequeñas unidades agrarias. La siembra promedio es de 274,411 hectáreas en 19 regiones del Perú. Puede desarrollarse desde el nivel del mar hasta los 4,200 m.s.n.m.; pero mayormente prospera en climas semitemplados. Alcanza su máximo crecimiento y desarrollo entre 15 a 18 C. La formación de estolones y tubérculos es más exigente y requiere de 8 a 12 C.

El rendimiento promedio nacional es de 13.3 t/ha. En costa el promedio alcanza a 25 t/ha. Esto también depende de la variedad de papa, niveles de fertilización y condiciones de riego. El cultivo de papa de la siembra a la cosecha genera aproximadamente 30.2 millones de jornales y el aporte al Producto Bruto Interno del Perú es 13 %.

### 2. Importancia del cultivo

La papa es el tercer cultivo más importante después del trigo y el arroz a nivel mundial. Sin embargo, poco se conoce de la importancia que tiene este tubérculo para la salud y la alimentación humana. La papa es un producto que contiene en 100 gramos; 78 gr. de humedad; 18,5 gr. de almidón y es rico en Potasio (560 mg) y vitamina C (20 mg). El consumo de papas (100 gr) al día, puede cubrir el requerimiento de hasta el 50 % de las necesidades de vitamina C para el ser humano (INIAP, 2014).

El Perú es el país con mayor diversidad de papas en el mundo, al contar con 8 especies nativas domesticadas y 2,301 de las más de 4,000 variedades que existen en Latinoamérica. Además, nuestro país posee 91 de las 200 especies que crecen en forma silvestre en casi todo nuestro continente (y que generalmente no son comestibles) (MINAG, 2014).

### 3. Morfología de la papa

- a) **Raíces.**- Las plantas de papa pueden desarrollarse a partir de un tubérculo o de semilla sexual. Cuando crecen a partir de tubérculos, forman raíces adventicias fibrosas y finas, primero en la base de cada brote y luego, encima de los nudos en la parte subterránea de

cada tallo.

En comparación con otras especies cultivadas, la papa tiene un sistema radical débil; por lo general, penetra hasta los primeros 30 centímetros del suelo, pero puede alcanzar hasta 1.50 metros, dependiendo del cultivar. Lateralmente, las raíces se extienden hasta 60 centímetros o más; en las especies silvestres, es normal encontrar raíces de más de dos metros de extendidas lateralmente.

- b) **Tallos.**- La papa es una planta herbácea; su hábito de crecimiento cambia entre las especies y dentro de cada especie. Cuando los tallos crecen horizontalmente sobre el suelo son de hábito de crecimiento rastroso, cuando los tallos se arrastran pero levantan el ápice son de crecimiento decumbente y cuando los tallos se levantan, son de crecimiento semierecto o erecto.

El sistema de tallos de la planta de papa consta de tallos aéreos principales, estolones y tubérculos; las plantas provenientes de tubérculos pueden producir varios tallos aéreos, herbáceos, erguidos o ligeramente postrados y resultan del desarrollo de las yemas localizadas en los ojos de los tubérculos (semilla).

Pueden producirse tantos tallos como yemas tenga el tubérculo, en las especies silvestres pueden alcanzar hasta 3 metros de longitud. El diámetro de los tallos oscila entre 5 y 25 milímetros; en corte transversal pueden ser redondeados, triangulares o cuadrangulares con apéndices laterales denominados alas que pueden ser rectas o serpenteadas y su color varía desde verde claro hasta púrpura; los tallos aéreos laterales son ramas de los tallos principales.

Por su parte, los estolones son tallos laterales que crecen horizontalmente en el suelo a partir de las yemas de la parte subterránea de los tallos principales. Los estolones son más gruesos y carnosos que las raíces y comienzan a desarrollarse cuando la planta tiene unos 10 centímetros de altura. Aparecen en los nudos de la parte subterránea del tallo rodeado por encima de dos a cinco raíces; pueden ser simples, con nudos en los cuales salen las raíces o ramificados produciendo estolones laterales que se originan en los nudos.

- c) **Tubérculos.**- Morfológicamente, los tubérculos son tallos subterráneos modificados (acortados, engrosados y provistos de yemas) con dos extremos: el basal o extremo ligado al estolón y el extremo opuesto que se llama distal o extremo apical. En la anatomía del tubérculo se distinguen las siguientes zonas: peridermo, corteza, anillo vascular, parénquima de reserva, médula y brotes.

**Peridermo** es la cáscara o piel, tiene la función de controlar la pérdida de humedad e impedir la entrada de patógenos. El peridermo consta de 6 a 14 capas corchosas de células.

**Parénquima externo de almacenamiento o reserva** es la parte que abarca la mayor parte del tubérculo, rico en contenido de almidón. Esta región está compuesta por la corteza y el anillo vascular.

**Corteza** es una estrecha capa de tejido parenquimatoso localizada debajo del peridermo. Las capas celulares más externas de la corteza contienen proteínas, gránulos de almidón y pigmentos de diferentes colores.

**Anillo vascular** anillo delgado constituido por el xilema y el floema, por el cual circula el agua y los elementos fotosintetizados, respectivamente. Este anillo hace contacto entre el estolón y los ojos.

**Médula** es la parte central del tubérculo, constituida por células grandes y transparentes, las que forman el parénquima medular o interno de almacenamiento.

**Brotos** los brotes crecen de las yemas que se encuentran en los ojos de los tubérculos; el color de los brotes es una característica varietal: Pueden ser blancos, parcialmente coloreados en la base o en el ápice o casi totalmente coloreados. El extremo basal de los brotes, forma normalmente la parte subterránea del tallo y se caracteriza por la presencia de lenticelas. Después de la siembra, esta parte produce rápidamente raíces y luego estolones o tallos laterales; el extremo apical del brote da origen a las hojas y representa la parte del tallo donde tiene lugar el crecimiento del mismo. El tamaño, forma, profundidad de los ojos, color de la piel y de la pulpa, color de los brotes, número de tubérculos por planta y contenido de materia seca de los tubérculos, son características hereditarias.

d) **Hojas.-** Las hojas de la planta adulta son generalmente compuestas y, regularmente imparipinadas, con folíolos primarios y secundarios. El folíolo terminal es de mayor tamaño que los laterales; la forma varía desde orbicular hasta lanceolada. La superficie puede ser opaca o brillante, de color verde oscuro, púrpura, violáceo o verde claro, glabrescente o densamente pubescente.

e) **Flores.-** Las flores de la papa son hermafroditas y constan de un cáliz que presenta una forma muy constante para las variedades o especies. El número de flores por inflorescencia

es variable según la especie y las condiciones ecológicas; el pedúnculo de la inflorescencia está dividido generalmente en dos ramas, cada una de las cuales se subdivide en otras dos formando una inflorescencia denominada “cima” y ocasionalmente, adopta forma de “umbela”. En ciertas especies, la inflorescencia es terminal situada por encima del follaje como sucede en la mayoría de los cultivares de *Solanum tuberosum ssp. tuberosum*.

La corola es gamopétala, formada por cinco pétalos unidos por membranas interpetalares; por su forma, la corola puede ser rotácea, estrellada o pentágona. La corola tiene color muy variable, con flores blancas, amarillas, rosadas, púrpura-violáceas o azules, con mayor o menor tonalidad.

El androceo está constituido por cinco estambres que forman una columna alrededor del pistilo; cada estambre consta de antera y filamento que está unida al tubo de la corola. El color de las anteras varía de amarillo claro a naranja intenso. Los granos de polen son esparcidos a través de poros ubicados en la punta de la antera.

El gineceo consta de un solo pistilo que está compuesto de ovario, estilo y estigma. El ovario es súpero porque los sépalos, pétalos y estambres están pegados al receptáculo, debajo del ovario; en un corte transversal el ovario presenta otras cavidades o lóculos donde hay numerosos óvulos distribuidos en la periferia de la placenta. El estilo es una prolongación del pistilo que conecta al estigma y el ovario; el estigma es la parte receptiva del pistilo, donde germinan los granos de polen para crecer a través del estilo. Después de la fertilización, los óvulos se desarrollan para convertirse en semillas.

f) **Frutos.-** Los frutos de la papa son “bayas” de diferente tamaño entre 1 y 4 cm de longitud, con forma esférica, globular, ovoide o cónico alargada. Su color varía de verde pálido u oscuro; en algunas variedades, tienen puntos blancos o pigmentados o franjas o áreas pigmentadas

Cada baya puede llegar a contener hasta 400 semillas de forma aplanada, ovalada o arriñonada, generalmente de color amarillo; cada semilla está envuelta en una capa llamada testa que protege al embrión y un tejido de reserva llamado endospermo; el embrión tiene dos polos opuestos, la radícula y la plúmula que contiene dos cotiledones (Huamán, 1986).

## **4. Requerimientos agronómicos de la papa**

### **4.1. Suelo**

La papa requiere un suelo con buen drenaje, bien aireado, poroso con un pH de 5 a 6. Los requerimientos de fertilizantes son relativamente altos y por sistema de riego son de 80 a 120 kg / ha de N, de 50 a 80 kg / ha de P y 125 a 160 kg / ha K. El cultivo se produce en surcos o en suelo plano. Para la producción de secano, la siembra en suelo plano tiende a dar mayores rendimientos debido a la conservación del agua del suelo. Bajo riego el cultivo crece principalmente en surcos. La profundidad de siembra es generalmente de 5 a 10 cm, mientras que la distancia entre plantas es de 0,75 x 0,3 m bajo riego y 1 x 0,5 m en condiciones de secano. El cultivo durante el período de crecimiento debe evitar el daño a las raíces y tubérculos, y en climas templados se realiza el aporque para evitar enverdecimiento de los tubérculos. El cultivo es moderadamente sensible a los suelos salinos con una reducción del rendimiento a diferentes niveles de  $CE_e$ : 0 % a 1.7; 10 % a 2.5; 25 % a 3.8; 50 % a 5.9 y 100 % a 10 mmhos/cm (FAO, 2014).

### **4.2. Agua**

Para rendimientos altos, el requerimiento de agua del cultivo (ETm) para plantaciones de 120 a 150 días son de 500 a 700 mm dependiendo del clima. La relación entre la máxima evapotranspiración (ETm) y la evapotranspiración de referencia (ETo) es dada por el coeficiente del cultivo (Kc). Durante su etapa inicial el Kc es 0.4 - 0.5 (20 a 30 días), en la etapa de desarrollo es 0.7 - 0.8 (30 a 40 días) en la media estación de 1.05 a 1.2 (30 a 60 días), en la etapa tardía de 0.85 - 0.95 (20 a 35 días) y en la madurez 0.7 - 0.75. En condiciones de secano se ha observado que una precipitación de 600 a 800 mm distribuidos regularmente durante el periodo vegetativo del cultivo de la papa es adecuada para obtener un buen rendimiento (Barrantes, 1993).

### **4.3. Clima**

Los rendimientos se ven afectados por la temperatura, las temperaturas medias diarias óptimas son de 18 a 20 C. En general se requiere una temperatura de noche por debajo de 15 C para la iniciación de la tuberización. La temperatura óptima del suelo para el crecimiento normal del tubérculo es de 15 a 18 C. El crecimiento del tubérculo está fuertemente inhibida

cuando está por debajo de 10 C y por encima de 30 C. Las variedades de papa se pueden agrupar en temprana (90 a 120 días), media (120 a 150 días) y variedades tardías (150 a 180 días). Las condiciones de frío en la plantación ralentiza la emergencia pudiendo extender el período de crecimiento. Las primeras variedades mejoradas para los climas templados requieren un fotoperíodo de 15 a 17 horas, mientras que las variedades tardías producen buenos rendimientos tanto en condiciones largas o cortas de días. Para los climas tropicales, variedades que toleran días cortos son requeridos para la adaptación local.

## **5. Estrés hídrico**

En sistemas biológicos se ha adoptado el concepto físico de tensión-deformación (stress-strain) para analizar los procesos que ocurren cuando una planta se encuentra sometida a una situación de estrés. El estrés biológico sería cualquier factor ambiental capaz de producir una deformación (strain) potencialmente nociva en un organismo (Levitt, 1980).

### **5.1. Estrategias frente al estrés hídrico**

La falta de agua o déficit hídrico se representa como la tensión o estrés que actuaría sobre las plantas, y toda tensión produce dos tipos de respuesta en los organismos: respuestas que tienden a evitar o prevenir la tensión (mecanismos evitadores) y mecanismos o adaptaciones que permiten soportar o resistir el estrés (mecanismos de tolerancia). Mientras todas las estrategias de tolerancia conllevan una limitación mayor o menor del crecimiento, solo la estrategia de ahorro de agua conlleva un crecimiento limitado en el caso de la evitación del estrés. Las especies que derrochan agua son en general más productivas y tienen mecanismos que les permiten una eficaz extracción del agua del sustrato y una elevada conductividad hidráulica interna para abastecer con rapidez toda la parte aérea de la planta. Esto les confiere una gran competitividad, pero no es siempre una estrategia viable en medios secos, particularmente cuando la carencia de agua es crónica. En estas condiciones predominan las especies tolerantes del estrés hídrico (Valladares et al., 2004).

Levitt (1980) describió extensamente los dos tipos de estrategias de resistencia al déficit hídrico: la estrategia evitadora de la sequía y la tolerante de la sequía, cómo los mecanismos eco fisiológicos de resistencia se articulaban entorno a cada una de las tres estrategias mostradas (Figura 1).

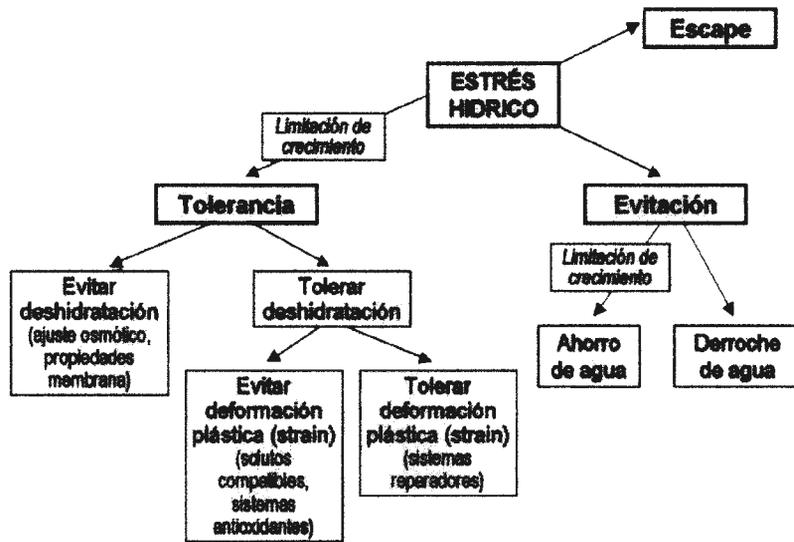


Figura 1: Tres respuestas posibles ante el estrés hídrico: escapar, evitación y/o tolerancia.

Fuente: (Valladares et al., 2004)

Diversos autores han realizado clasificaciones más o menos extensas en las cuales se definen las principales estrategias de las especies que pueden denominarse en general mecanismos de resistencia. Estas clasificaciones, aunque utilizan diferentes nomenclaturas, se refieren a mecanismos similares (Cuadro 1).

Cuadro 1: Clasificación de la respuesta de las plantas ante el déficit hídrico. Fuente: (Valladares et al., 2004)

Denominación del mecanismo o estrategia por distintos autores					
	Levitt (1980)	Turner (1986)	Koclowaki et al. (1991)	Jones (1992)	Larcher (1995)
<b>Descripción</b>	<b>Resistencia a la sequía</b> <i>Drought resistance</i>	<b>Resistencia a la sequía</b> <i>Drought resistance</i>	<b>Tolerancia a la sequía</b> <i>Drought resistance</i>	<b>Tolerancia a la sequía</b> <i>Drought resistance</i>	<b>Resistencia a la sequía</b> <i>Drought resistance</i>
Especies que completan el ciclo vital antes del período de estrés	Evasión <i>Escape</i>	Evasión <i>Escape</i>	Evitación <i>Avoidance</i>	Evitación <i>Avoidance</i>	Elusiva de sequía (árido-pasiva) <i>Drought evading (arido-passive)</i>
Especies que evitan la deshidratación ocular	Evitación <i>Avoidance</i>	Tolerancia con alto potencial hídrico <i>Tolerance with high <math>\Psi</math></i>	Aplazamiento de deshidratación <i>Dehydration postponement</i>	Evitación <i>Avoidance</i>	Evitadora de desecación (árido-activa) <i>Desiccation avoidant (arido-active)</i>
Especies que toleran la deshidratación ocular	Tolerancia <i>Tolerance</i>	Tolerancia con bajo potencial hídrico <i>Tolerance with low <math>\Psi</math></i>	Tolerancia de deshidratación <i>Dehydration tolerance</i>	Tolerancia <i>Tolerance</i>	Tolerante de desecación (árido-tolerante) <i>Desiccation tolerant (arido-tolerant)</i>

Según Levitt (1980), las plantas han evolucionado hacia el desarrollo de mecanismos que evitan el déficit hídrico, mientras que los mecanismos tolerantes serían un factor que complementarían a los mecanismos anteriores. Una vez que una planta determinada está sometida a estrés hídrico debe ser capaz de resistirlo, bien por mecanismos tolerantes o bien por mecanismos evitadores (Cuadro 2). De esta forma, el desarrollo de mecanismos evitadores eficientes permitiría no solo sobrevivir al estrés sino continuar creciendo y desarrollándose en condiciones de agua limitante. Los mecanismos para evitar el estrés serían más exitosos que los tolerantes en climas áridos ya que evitarían cualquier tipo de deformación ("strain") elástica o inelástica y los costes energéticos asociados.

Cuadro 2: Los principales mecanismos de tolerancia (TOL) o evitación (EVIT) del déficit hídrico. Fuente: (Valladares et al., 2004)

	Rango	Estrategia
<b>Hojas</b>		
- Mantenimiento de $\Psi$ alto		EVIT
- Mantenimiento de $\Psi$ bajo		TOL
- Cierre de estomas a RWC alto		EVIT
- Cierre de estomas a RWC bajo		TOL
- Fuerte cierre de estomas al mediodía		EVIT
- Baja absorción de la radiación		EVIT
- Alta capacitancia foliar		EVIT
- Baja conductancia cuticular		EVIT
- Alto SLW		EVIT
- Poca cantidad de hojas		EVIT
- Abscisión foliar durante el estrés		EVIT
<b>Raíces</b>		
- Raíces profundas		EVIT
- Gran densidad de raíces		EVIT
- Alta superficie de absorción en relación con baja superficie transpirante		EVIT
- Raíces suberificadas		EVIT
- Alta relación biomasa radical / biomasa aérea		EVIT
- Sistema radical dual		EVIT
- Alto peso específico radical		EVIT
- Alta conductividad hidráulica		EVIT
<b>Anatomía/Metabolismo</b>		
- Tejidos sensibles a deshidratación (RWC total > 50%)		EVIT
- Tejidos resistentes a deshidratación (RWC total < 25%)		TOL
- Resistente a la cavitación del xilema		TOL
- Pequeño tamaño celular		TOL
- Ajuste osmótico		TOL
- Alta elasticidad pared celular		TOL
- Capacidad de rebrote		TOL
- Resistencia a la disfuncionalidad de membrana celular		TOL
- Acumulación sustancias osmoprotectoras (prolina, betaina...)		TOL
- Sistemas antioxidantes		TOL
- Estabilidad pigmentos fotosintéticos		TOL
- Alta fotoinhibición		TOL

Contenido Relativo del Agua (RWC) ; Peso específico de la Hoja (SLW) ; Potencial Hídrico ( $\Psi$ )

En un marco fisiológico, a menudo la tolerancia a estreses abióticos como la sequía está asociada a la supervivencia de la planta. Sin embargo, desde un punto de vista agronómico, la tolerancia se entiende más bien en términos del rendimiento (magnitud y estabilidad) de un cultivo en condiciones limitantes de disponibilidad hídrica (Passioura & Angus, 2010).

## 6. Sequía

La sequía desde el punto de vista agronómico se define como la falta de humedad que afecta sensiblemente al normal crecimiento y desarrollo de la planta afectando sus principales

funciones y disminuyendo su potencial productivo o rendimiento de sus órganos, el cual puede ocurrir en cualquier etapa fenológica de su desarrollo. Debido a este déficit de humedad las plantas reaccionan de diferente forma para contrarrestar estos efectos y normalmente ocurre la disminución de la producción y si este déficit es demasiado severo y la planta no cuenta con mecanismos de defensa o tolerancia, resistencia o evasión, puede ocurrir la muerte paulatina e irreversible (Jacobsen et al., 2003).

La sequía en términos genéricos puede definirse como una deficiencia de agua que depende de dos factores: las variaciones en el descenso del potencial hídrico en el ambiente y de las variaciones en el tiempo o duración de estos descensos (Julio et al., 2013). Alfonso (1997), indica que esta es una deficiencia ambiental de agua, ya sea en el suelo y/o en la atmósfera y que puede someter a una tensión o esfuerzo a las plantas sobre las cuales incide.

## **7. El efecto del agua en el rendimiento del cultivo de la papa**

El cultivo de papa es particularmente sensible a la sequía (Yuan et al., 2003) en consecuencia requiere un adecuado riego para mantener el rendimiento y la calidad de los tubérculos (Porter et al., 1999; Fabeiro et al., 2001). La papa es relativamente sensible al déficit hídrico del suelo. Para optimizar el rendimiento total del agua disponible en el suelo no debe ser agotado por más de 30 a 50 %. El agotamiento de la cantidad total de agua disponible en el suelo durante el período de crecimiento de más del 50 % da como resultados rendimientos más bajos. El déficit de agua durante el período de estolonización e iniciación del tubérculo (1b) y la formación de rendimiento (3) tienen el mayor efecto adverso en el rendimiento, mientras que la maduración (4) y la etapa vegetativa temprana (1a) son períodos menos sensibles. En general, el déficit de agua en la estación media a la parte tardía del período de crecimiento tiende a reducir el rendimiento más que en la primera parte. Sin embargo, las variedades varían en su sensibilidad al déficit hídrico. Algunas variedades responden mejor a la irrigación en la primera parte del período de formación de rendimiento (3), mientras que otros muestran una mejor respuesta en la última parte de ese período. Los rendimientos de las variedades con pocos tubérculos pueden ser algo menos sensible al déficit de agua que aquellos con muchos tubérculos (Figura 2).

Para maximizar el rendimiento, el suelo debe ser mantenido a un alto contenido de humedad. Esto, sin embargo, puede tener un efecto adverso cuando el riego frecuente con agua relativamente fría puede disminuir la temperatura del suelo por debajo del valor óptimo de 15 a 18 C durante la formación de tubérculos. Además, los problemas de aireación del suelo a veces

pueden ocurrir en suelos húmedos y pesados.

Dado que la papa es un cultivo relativamente sensible tanto en términos de rendimiento y calidad, en condiciones de suministro de agua limitado la oferta disponible debe dirigirse preferentemente hacia la maximización de los rendimientos por hectárea en lugar de difundir el agua limitada en un área mayor. Ahorro en el agua se pueden realizar principalmente mediante la mejora de tiempo y profundidad de la aplicación del riego.

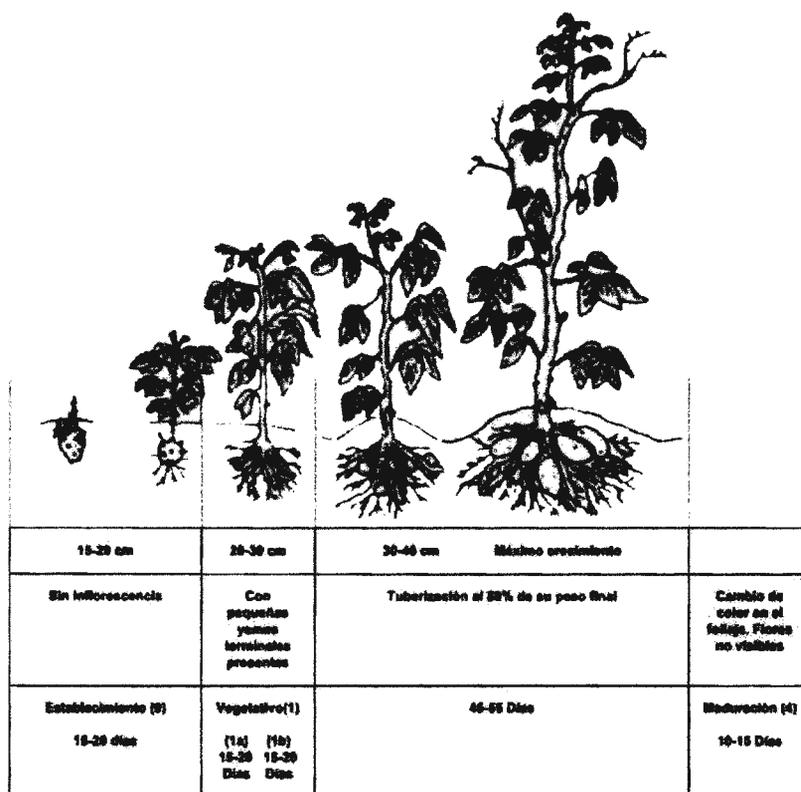


Figura 2: Etapas de desarrollo de la papa. Fuente: Sparks (1972)

Un buen rendimiento del cultivo de papa de 120 días en climas templados y subtropical es de 25 a 35 ton/ha de tubérculos frescos y en climas tropicales los rendimientos son de 15 a 25 ton/ha. La eficiencia de utilización del agua para la producción cosechada de tubérculos que contienen de 70 a 75 por ciento de humedad es de 4 a 7 kg/m<sup>3</sup> (FAO, 2014).

### III. Materiales y Métodos

#### 1. Material biológico

Se utilizaron quince (15) genotipos de papa provenientes de poblaciones de mejoramiento del Centro Internacional de la Papa. Los cuales fueron evaluados y seleccionados por sus buenas características agronómicas y bromatológicas. Dentro del grupo de genotipos empleados se usaron 2 variedades de papa (UNICA y Achirana) que fueron evaluados bajo condiciones de sequía en experimentos anteriores por lo que se tiene conocimiento de su tolerancia al estrés por sequía. Los genotipos presentan distintas características en su precocidad y madurez fisiológica (Cuadro 3).

Figura 3: Información agronómica de los 15 genotipos evaluados

Genotipos	Adaptabilidad	Tolerante a Calor	Precocidad	Rendimiento (kg/planta)	Materie Seca (%)
CIP397077.16	Tierras bajas tropicales		Medio	0.81	20
CIP398180.612			Medio		
CIP398192.213	Trópico de mediana elevación	Tolerante	Medio	0.71	22
CIP398201.510	Trópico de mediana elevación	Tolerante	Medio	1.16	20
CIP398203.5	Trópico de mediana elevación	Tolerante	Medio	0.84	13
CIP398208.33	Trópico de mediana elevación	Tolerante	Medio	0.81	21
CIP398208.704	Trópico de mediana elevación	Tolerante	Medio	0.75	24

#### 2. Trabajos en invernadero

##### 2.1. Localización

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el invernadero 10 A del Centro Internacional de la papa.

Cuadro 3: Localización geográfica

<b>Departamento</b>	Lima
<b>Provincia</b>	Lima
<b>Distrito</b>	La Molina
<b>Latitud</b>	12° 04' 33.92" Sur
<b>Longitud</b>	76° 56' 45.68" Oeste
<b>Altitud</b>	244 msnm

## 2.2. Condiciones ambientales

El experimento se llevó a cabo en la estación de Invierno (Mayo a Agosto de 2013). Las temperaturas promedio máxima y mínima del invernadero fueron de 24 y 15 C respectivamente. La humedad relativa promedio fue de 80 %. No hubo uso de luz artificial.

## 3. Metodología de sequía regulada

### 3.1. Desinfección de materiales

La desinfección de los materiales usados en la siembra, se realizó con 30 g de hipoclorito de calcio en 120 litros de agua. Se sumergieron los materiales para su desinfección (macetas, tutores de bambú y mallas plásticas). Luego se procedió a enjuagar y ponerlos a secar para su uso posterior.

### 3.2. Preparación de sustrato

Se utilizó una mezcla de sustrato SOGEMIX SM-2 (75 % Musgo de turba, perlita, vermiculita, y la piedra caliza) mezclada con tierra de chacra proveniente de la estación experimental de Huancayo. La desinfección del sustrato se realizó con vapor de agua (100 C) por 8 horas y luego se dejó a la intemperie para su enfriado, luego de 48 horas se procedió a realizar un muestreo del sustrato para su análisis (Cuadro 4). Cada maceta fue tarada y se colocó 2 Kg de sustrato con una malla plástica en la base para evitar la pérdida de sustrato.

La fertilización se fraccionó en dos, a la siembra y a los 40 DDS (días después de la siembra) en una dosis 170 - 60 - 270 de nitrato de amonio, superfosfato triple y sulfato de potasio respectivamente (CIP, 2014).

Cuadro 4: Análisis de sustrato

<b>pH</b>	<b>CE (1:1)</b>	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	<b>M.O</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Al<sup>+3</sup> + H<sup>+</sup></b>	<b>CIC</b>
<b>(1:1)</b>	<b>dS/m</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>meq/100</b>	<b>meq/100</b>
5.56	5.15	0	59.86	114.5	1060	0.75	32

Según el resultado del análisis, el sustrato usado posee un nivel muy alto de materia orgánica (propio de la naturaleza del mismo), dando lugar a un alto contenido de nitrógeno, con un pH moderadamente ácido y un valor de  $CE_{es}$  de 10.30 dS/m, valor que lo califica como muy salino ( $CE_{es} > 8$ ). Los contenidos de fósforo y potasio son altos, mientras que el nivel de carbonatos es nulo. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es alta, dando con ello una alta fertilidad potencial del sustrato.

### 3.3. Siembra de tubérculos

Los tubérculos fueron propagados en la estación experimental de Huancayo. Los tubérculos aun no brotados, fueron sometidos aun un tratamiento químico con RINDITE en una dosis de 200 ml en una cámara de 1 m<sup>3</sup> bien sellada por 72 horas, para romper la dormancia y luego se ponen los tubérculos en cámara caliente para favorecer el brotamiento de las yemas. Una vez que las semillas (tubérculo) estuvieron bien brotados se llevaron a cámara de luz difusa para suberificar las yemas y proceder a sembrarlas.

### 3.4. Tratamiento de riego

Las plantas se regaron interdiariamente hasta el inicio del tratamiento. A los 30 DDS las macetas se saturaron con agua y se dejaron drenar durante la noche para eliminar el exceso de agua, las macetas fueron selladas con bolsas de polietileno para evitar la pérdida de agua por evaporación de la superficie del suelo, se realizó el peso interdiario de las macetas hasta los 45 DDS para calcular los parámetros iniciales para la aplicación de los tratamientos. El tratamiento de sequía regulada se inició a los 45 DDS, con la metodología de lisímetro. Se pesaron las macetas cada 2 días por las tardes (entre 13:00 y 15:00 horas) según la metodología descrita en Bhatnagar-Mathur et al. (2007).

Con el fin de exponer a una sequía progresiva a las plantas en sequía controlada, se les redujo 150 ml de agua en cada riego, y las plantas con tratamiento de riego normal se le proveía de agua de acuerdo a su demanda de transpiración, el cálculo se realizó en base a la diferencia

de pesos. La disminución del agua en el sustrato se puede graficar en base a los cálculos de la fracción transpirable del suelo (Fig. 4). Siendo el peso inicial de la maceta después de saturación la base para reponer el agua (capacidad de campo).

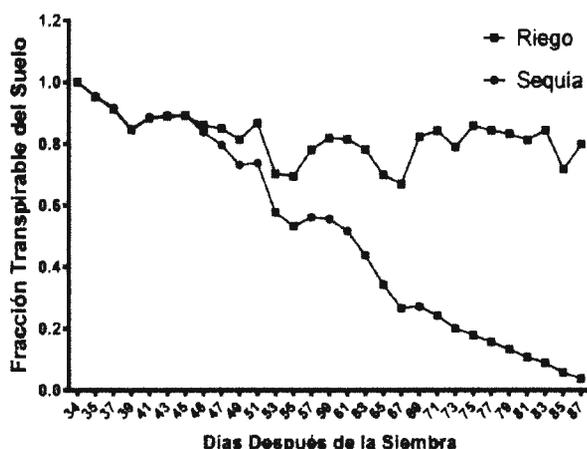


Figura 4: Fracción transpirable del suelo durante el tratamiento de sequía controlada

#### Las macetas se dividieron en 2 tratamientos

- a) **Riego normal.**- El tratamiento en el cual se aplicó el agua de acuerdo a los requerimientos de evapotranspiración de la planta. Las plantas se mantuvieron durante todo el experimento a capacidad de campo.
- b) **Sequía controlada.**- El tratamiento de sequía regulada consistió en disminuir la cantidad de agua aplicada a la planta de forma gradual hasta llegar a una transpiración normalizada en promedio de 20 %. Momento en donde se realiza la cosecha final del experimento.

#### 4. Diseño y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue de Parcelas Divididas, lo cual es adecuado para la características de la evaluación (Montgomery, 1999). La unidad experimental fue de una planta y/o maceta. Los factores por analizar fueron dos: los genotipos de papa y los tipos de riego. El factor genotipos constó de 13 clones avanzado y 2 variedades de papa (UNICA y Achirana) . El factor de tipo de riego tuvo dos tratamientos: riego normal y sequía controlada. Las unidades experimentales fueron cinco por tratamiento las que fueron distribuidas al azar (Fig. 5).

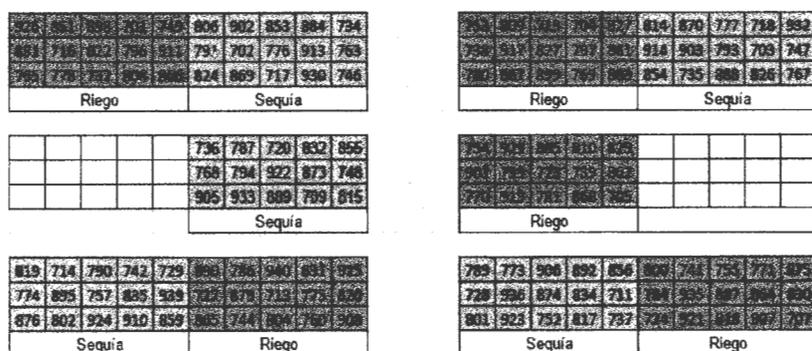


Figura 5: Distribución espacial del experimento con el diseño de parcelas divididas dentro del invernadero

Los datos fueron procesados y analizados en el software Estadístico R v.3.0.3 (The R Foundation for Statistical Computing). Los datos previos a su análisis fueron sometidos a detección de “valores atípicos” usando el paquete “car”, para los análisis de variancia (ANVA) y correlación de Pearson en el paquete “Agricolae”. El análisis de componentes principales con “FactoMineR”. Los Análisis de regresión lineal y figuras se realizaron con el software estadístico GraphPad Prism 6 (GraphPad Software, Inc.).

## 5. Variables evaluadas en el experimento

### 5.1. Componentes del rendimiento

Se separó la planta en cuatro componentes (raíz, tallo, hojas y tubérculos) a la cosecha se procedió a pesar la biomasa fresca (g), luego se puso a la estufa a 80 C por 3 días, y se realizó los pesos secos (g) por cada componente.

- Biomasa seca (g)** Se determinó como la suma de los cuatro componentes: raíz, tallo, hojas y tubérculos.
- índice de cosecha** Se calculó en base al peso seco de los componentes. Es la relación del peso seco del tubérculo en relación al peso de la biomasa

### 5.2. Potencial osmótico

Para esta medición se seleccionó un folíolo de la tercera hoja extendida desde el ápice de la planta y luego utilizando un sacabocado de 5 mm de diámetro, se extrajeron dos discos de dicho

folíolo. Estos se colocaron en viales criogénicos (NALGENE) de 1.0 ml, e inmediatamente se guardaron en nitrógeno líquido. Se realizaron las lecturas del potencial osmótico utilizando un microvoltímetro HR-33T (Wescor Inc., Logan, UT, USA) y cámaras psicrométricas C52 (Wescor Inc., Logan, UT, USA). Las muestras permanecieron durante 30 minutos en las cámaras psicrométricas hasta alcanzar el equilibrio del punto de rocío; y en ese instante se procedió a la lectura del dato.

### 5.3. Transpiración Total

Transpiración de las plantas se calculó bajo la metodología del lisímetro y se determina como la diferencia de pesos de las macetas, más el agua añadida en la evaluación anterior.

La diferencia entre el peso inicial y final de la maceta permite estimar la transpiración total de agua del suelo disponible en cada maceta. Esta información es utilizada para determinar la fracción transpirable del suelo y calcular la cantidad de agua a reponerse en cada maceta.

El cálculo de la fracción transpirable del suelo (FTS) fue calculada usando la siguiente fórmula:

$$FTS = \left( \frac{1 - PIM - PDM}{PIM - PFM} \right)$$

Donde:

- FTS : Fracción Transpirable del Suelo
- PIM (g): Peso Inicial de la Maceta
- PDM (g): Peso Diario de la Maceta
- PFM (g): Peso Final de la Maceta

### 5.4. Área foliar

El área foliar representa la superficie total de la hoja en  $cm^2$ . Se realizó a los 90 DDS, al término del experimento, la evaluación de realizó en cada unidad experimental. Las hojas cosechadas se colocaron sobre una superficie y se tomó una foto perpendicular a la superficie captando todas las hojas, luego se procedió a su análisis en el Software SisCop v1.0 (Embrapa Instrumentacao Agropecuaria, 2003)

### 5.5. Eficiencia de uso de agua

El uso eficiente de agua está definido como proporción de biomasa acumulada, expresada como dióxido de carbono asimilado por el cultivo por cantidad de agua consumida, expresada como transpiración, evapotranspiración o total de agua ingresada al sistema (Sinclair et al., 1984).

Para el caso de este estudio se utilizara la eficiencia de uso de agua en tubérculos (EUAtuberculos) y biomasa total (EUAbiomasa).

$$EUA = \left( \frac{PS_{biomasa}}{TT} \right)$$

Donde:

- $PS_{biomasa}$  (g): Peso Seco de Tubérculo y/o biomasa total
- TT (ml): Transpiración Total

### 5.6. Contenido relativo de agua

El Contenido Relativo de Agua (CRA) es el contenido hídrico basado el en peso. Método que mide el estado hídrico de las plantas como porcentaje del peso seco. El material vegetal se seca en estufa u horno a una temperatura entre 60 y 80 C (Troyo-Diéguez et al., 2007).

El CRA se calcula mediante la expresión:

$$CRA(\%) = \left( \frac{PF - PS}{PT - PS} \right) \times 100$$

Donde:

- CRA (%): Contenido Relativo de agua
- PF (g): Peso Fresco
- PS (g): Peso Seco
- PT (g): Peso Turgente

Para realizar la medición CRA, se procedió a seleccionar un folíolo de la tercera hoja extendida desde el ápice de la planta. Dicho folíolo será colocado en una bolsas de sellado hermético de 3 x 2.5 pulgadas (previamente pesada en una balanza de precisión (0.001 g)),

para evitar que pierda humedad durante su transporte. Estos folíolos se pesan en fresco y luego son puestos en turgencia con agua destilada durante 8 horas para alcanzar su máxima capacidad de almacenamiento y determinar su peso turgente. Luego, se procede a colocar dichos folíolos en el horno a 80 C por 3 días, y así determinar el peso seco.

### **5.7. Contenido relativo de clorofila**

Es el contenido relativo de pigmentos fotosintéticos medido con un equipo de desarrollo analítico de suelos y plantas (soil plant analytical development, SPAD). El análisis de las clorofilas da a conocer el estado de desarrollo de la planta y permite la determinación del estado fisiológico de la planta, con lo cual se puede detectar posibles estreses (Ferri et al., 2004).

Para realizar esta medición, se usó el clorofilómetro (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan). Se seleccionó tres folíolos un impar y los dos pares cercanos a este, de la tercera hoja extendida desde la parte apical de la planta. En los cuales se realizó tres lecturas o muestreos, por cada folíolo y se promediaron dichas lecturas por cada unidad experimental. Las unidades de medición son característica del equipo, las cuales figuran como unidades SPAD (por sus siglas en inglés: Soil Plant Analyzer Device) las cuales representan o equivalen al contenido relativo de clorofila en la hoja de la planta.

### **5.8. Índice de tolerancia a la reducción de agua**

El índice de sequía, Tolerancia a la Reducción de Agua (TRA), es usado para caracterizar la respuesta de cada genotipo sometido a condiciones de sequía. Es calculado como el peso seco tubérculo en condiciones de sequía en relación al peso seco del tubérculo en condiciones de riego (Deblonde & Ledent, 2001).

El índice de tolerancia a la reducción de agua depende no solo del rendimiento bajo sequía y riego, sino también de la intensidad del estrés. Este valor depende altamente de las condiciones ambientales. Valores menores a la unidad son considerados tolerantes a la sequía, ya que la reducción en condiciones de sequía es más pequeña que el rendimiento promedio de todo los genotipos evaluados Cabello et al. (2013).

El TRA se calcula mediante la expresión:

$$TRA = \frac{1 - \left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)}{1 - \left(\frac{Y_{ms}}{Y_{mp}}\right)}$$

Donde:

- TRA : Tolerancia a la reducción del agua.
- $Y_s$  : Rendimiento bajo sequía.
- $Y_p$  : Rendimiento bajo condiciones de riego.
- $Y_{ms}$  : Rendimiento promedio de los genotipos bajo sequía.
- $Y_{mp}$  : Rendimiento promedio de los genotipos bajo condiciones de riego.

## IV. Resultados y discusiones

### 1. Clones con tolerancia al estrés por sequía en base al rendimiento

Los resultados muestran que no existe interacción entre los tratamientos con los genotipos. Más si existe diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento de riego controlado el que presentó mayor rendimiento (40.61 gr/planta) con respecto a las plantas en sequía regulada (23.87 g/planta) (Anexo 13).

Los genotipos que presentaron mayor rendimiento fueron CIP398208.620 con 53.15 g; CIP398098.119 con 50.18 g y el CIP398208.219 con 43.83 g. Mientras que los genotipos contrastantes fueron CIP720088 con 19.35 gr; CIP398201.510 con 18.68 g y el CIP398203.244 con 8.59 g (Fig 6).

La selección en base al rendimiento y la tolerancia a la reducción del agua se puede observar que los genotipos que tienen mayor performance en promedio son el CIP398208.620, CIP398098.119, CIP397077.16, CIP392797.22 y el CIP398190.89 (Fig 6). La variedad UNICA (CIP392797.22) entre los genotipos estudiados presenta características de madurez prematura con buena aclimatación a calor y ambientes secos por lo que se le consideran un genotipo tolerante y se refleja en la reducción de su rendimiento en poco menos de 25 % en condiciones de estrés como los reportados por otros estudios Ramírez et al. (2014).

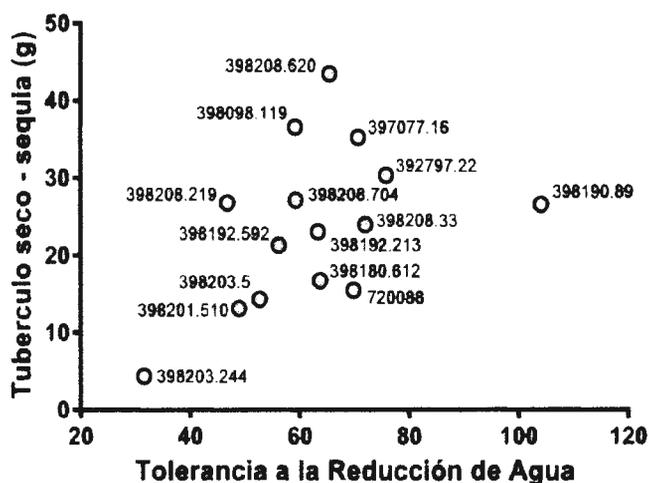


Figura 6: Selección de clones en base al peso seco de tubérculos e índice de tolerancia al estrés

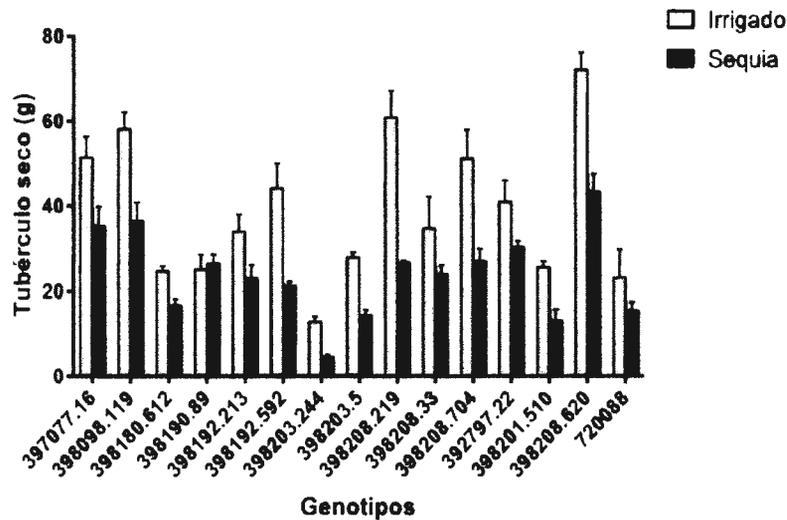


Figura 7: Rendimiento de los genotipos en peso seco

La restricción del riego reduce el rendimiento comparado con plantas bien regadas (Yactayo et al., 2013). Los agricultores no quieren cultivares que sean tolerantes a la sequía y pobres potencial de rendimiento. Lo que desean es cultivares que respondan a las condiciones favorables pero que puedan mantener un rendimiento económico adecuado en condiciones de sequía. Lo que representa una reducción aceptable hasta de 20 a 40 % entre plantas estresadas y no estresadas. Es por ello que es importante identificar variedades con ambas características, rendimiento aceptable bajo condiciones de estrés por sequía.

El rendimiento bajo condiciones manejadas de estrés puede predecir el rendimiento en condiciones naturales (campo). Ganancia bajo esta selección ha sido demostrado con anterioridad (IRRI, 2014). El efecto de la sequía en el rendimiento dependerá del estado de desarrollo del cultivo la intensidad y duración al estrés por reducción del agua (Kumar et al., 1994). En la agricultura de subsistencia, un rendimiento estable es más importante que un rendimiento alto en ambientes favorables. En la agricultura comercial, altos rendimientos son altos ingresos lo cual es el objetivo deseado (Rosielle & Hamblin, 1981).

Actualmente existen variedades cultivadas de alta precocidad que pueden escapar de los periodos de sequías estacionarias debido a su corto periodo de crecimiento, y las variedades de periodos largos pueden beneficiarse de los mecanismos de resistencia a la sequía en base a tolerancia (Coleman, 2008). Sin embargo, la base genética presente podría ser aun pequeñas para el desarrollo exitoso de la respuesta al estrés por sequía bajo varias condiciones de

crecimiento.

La combinación de altos rendimientos estables y altos rendimientos en sequía, ha sido propuesto como un criterio de selección para caracterizar el desempeño del genotipos bajo distintos grados de variación en la sequía (Ahmad et al., 2003), ya que la sequía es un fenómeno errático e impredecible, el objetivo de los mejoradores es mejorar la capacidad de las plantas a la tolerancia al estrés por sequía mientras mantengan a su vez un rendimiento alto (Spitters & Schapendonk, 1990).

## **2. Contenido Relativo de Clorofila**

A los 29 DDS, cuando no se aplicó aun el tratamiento de sequía regulada se observa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos (Anexo 1) , eso muestra que todos los genotipos están iniciando el tratamiento bajo las mismas condiciones y sin efectos alguno de estrés; más si existe diferencia significativa entre los genotipos ( $p < 0,001$ ) ya que los genotipos provienen de distintas hibridaciones (Fig. 8) . El promedio general para contenido relativo de clorofila en los genotipos fue 56.55.

Los genotipos que mostraron mayores promedios en SPAD fueron CIP398201.510 con 62.90 , CIP397077.16 con 61.40 y CIP398203.244 con 61.27. Mientras que los genotipos de con menor SPAD fueron los genotipos CIP398203.5 con 53.03 , CIP398098.119 con 51.06 y CIP398208.219 con 46.93 (Fig. 8).

En los resultados de las mediciones de SPAD a los 83 DDS, se observó una reducción en el promedio general con 41.90. Adicionalmente se observa una interacción genotipo con tratamiento ( $p = 0,01$ ) (Anexo 2), lo que hace referencia a que existe un efecto de la sequía en relación a los genotipos estudiados (Fig. 8).

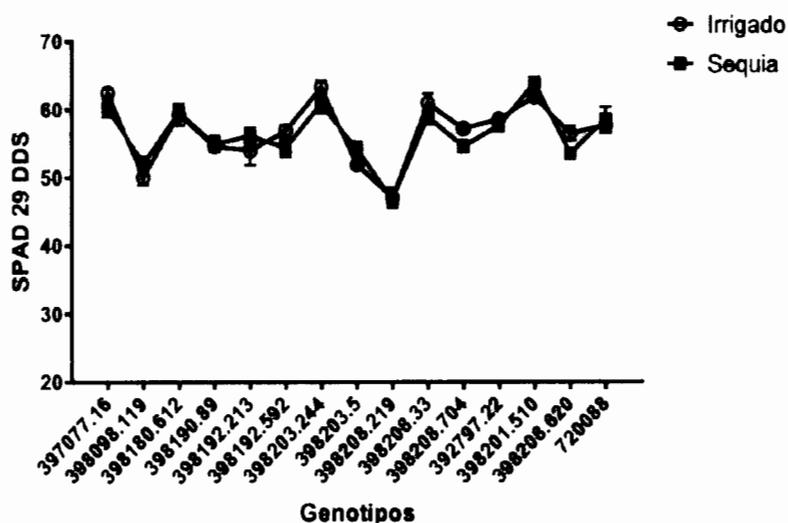


Figura 8: Contenido Relativo de Clorofila a los a los 29 DDS.

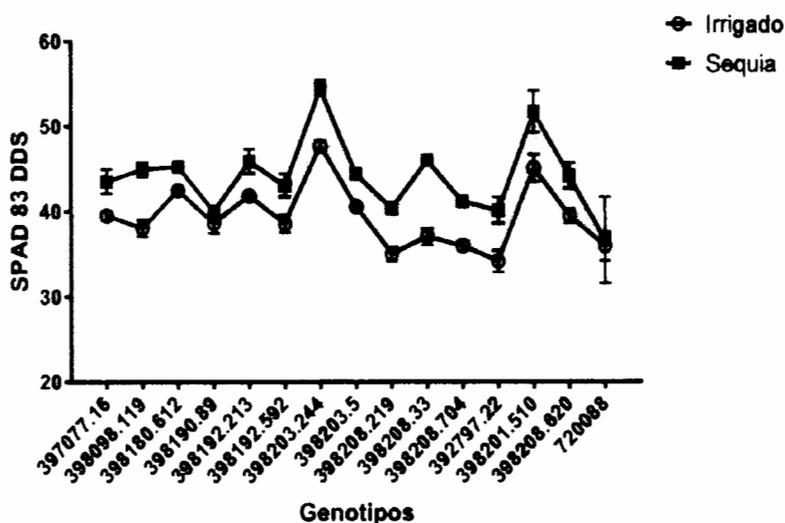


Figura 9: Contenido Relativo de Clorofila a los a los 83 DDS.

La medición del SPAD usualmente se utiliza para determinar el estado nutricional de la planta en base a fertilización nitrogenada. Yamamoto et al. (2002) encontró que los valores de SPAD estaban correlacionados no solo con la concentración de clorofila sino también con la concentración de nitrógeno en las hojas de los cultivos, también confirmado por Li et al. (2012) en papa. El permanecer verde del cultivo es un tratamiento apreciado en los programas de mejoramiento ya que usualmente es asociado con la actividad fotosintética.

El contenido relativo de clorofila a los 29 DDS son similares en entre los tratamientos entre plantas bien regadas y plantas sometidas a estrés, esto hace referencia a que las plantas aun no son sometidas al tratamiento de estrés y no muestras diferencias entre las mediciones del contenido relativo de clorofila (Fig. 8). Más si existe diferencia entre los genotipos debido que el verdor de las hojas esté asociado a características propias de cada genotipo (Thomas & Smart, 1993).

A los 83 DDS (38 DDT), se puede notar una disminución general del contenido relativo de clorofila en los 15 genotipos (Fig. 8) posiblemente debido a la senescencia de la planta producto de la translocación de nutrientes. También existe diferencia significativa entre la interacción genotipo por tratamiento ( $P < 0,05$ ). Siendo el tratamiento de sequía regulada el que mantiene valores más altos (44.09 SPAD) que las plantas bajo riego (39.71 SPAD). Pero lo cual no conllevó a que los genotipos en sequía tengan mayor eficiencia fotosintética reflejada en el aumento del rendimiento, como lo denomina, Hörtensteiner (2009) “verde cosmético”, que al parecer está más relacionado a la aceleración de la senescencia que a la actividad fotosintética. No se presenta ningún indicio o tendencia en el contenido relativo de clorofila con la tolerancia a la sequía, más si nos muestra que existe diferencia entre tratamientos.

Según Ramírez et al. (2014) existe diferencia en la concentración de contenido relativo de clorofila entre tratamientos de plantas con sequía y plantas bien regadas durante la etapa de senescencia en experimentos de campo, el cual tiene una correlación negativa con los resultados de rendimiento. Según los análisis de correlación de Pearson para el presente estudio existe cierto grado de asociación inversa del SPAD con los componentes del rendimiento a los 83 DDS (Cosecha 85 DDS) con índice de Cosecha ( $r = -0,83$ ), peso seco de tubérculo ( $r = -0,47$ ), Eficiencia de uso de agua en tubérculos ( $r = -0,7$ ) y al índice de tolerancia a la reducción del agua ( $r = -0,56$ ) (Anexo C).

### **3. Interacción del agua en la célula**

Referente al contenido relativo de agua (%) se observa una interacción entre los tratamientos y los genotipos, siendo el tratamiento en el cual las plantas estaban bien regadas de 69.36% y la plantas en tratamiento de sequía de 57.39% ( $p < 0,01$ ) (Anexo 3) . Los genotipos que mantuvieron un mayor contenido relativo de agua bajo condiciones de riego normal fueron, CIP398208.219 con 74.31% ; CIP397077.16 con 73.92% y el CIP720088 con 73.15%. Mientras que los genotipos que mostraron altos valores de CRA bajo sequía

controlada fueron, CIP720088 con 64.96 % ; CIP398203.5 con 64.06 % y CIP392797.22 con 60.18 % (Fig. 10).

Para el potencial osmótico (Mpa) los resultados muestran diferencia significativa entre tratamientos siendo las plantas sometidas a sequía controlada  $-2,84\text{Mpa}$  mientras que las plantas bien regadas  $-2,24\text{Mpa}$  ( $p < 0,001$ ) (Anexo 4).

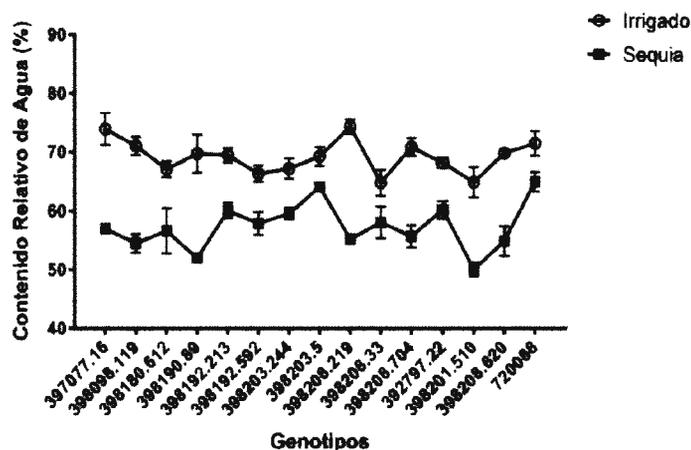


Figura 10: Contenido relativo de agua

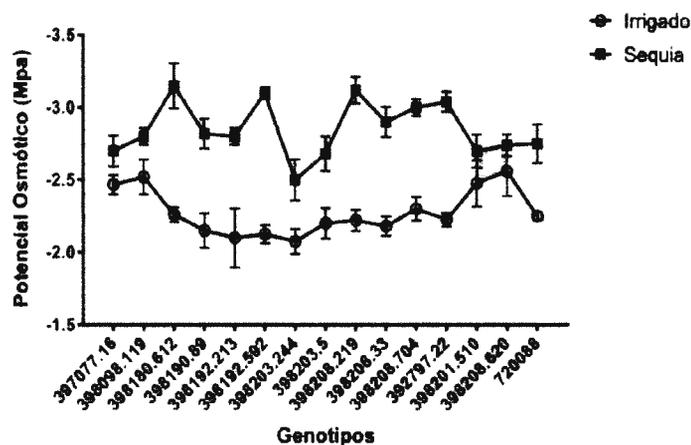


Figura 11: Potencial osmótico

Con relación al potencial osmótico los resultados de la investigación muestran que las plantas sometidas a estrés hídrico por sequía muestran valores más negativos comparados con las plantas bien regadas (Yactayo et al., 2013; Xu et al., 2011) (Fig. 10) . Lo cual es atribuido a

una alta concentración de solutos en la células (Blum, 2011). Bajo un balance hídrico desfavorable con un desequilibrio hídrico interno, un mecanismo de defensa es el “ajuste osmótico”, al disminuir el potencial osmótico ( $\pi$ ) para mantener la turgencia (Troyo-Diéguéz et al., 2007; Warwick, 2006).

La disminución del  $\pi$  celular ante el déficit hídrico puede deberse a un aumento de solutos y se logra abatiendo el volumen de agua celular. Las variedades de papa que muestran un rendimiento alto bajo condiciones restringidas de agua poseen un alto ajuste osmótico. En numerosas especies, la acumulación de solutos durante el declive en el potencial hídrico de la hoja es esencial para mantener la hidratación foliar, evitando el daño por la desecación celular y promueve la resistencia a la sequía en las plantas (Blum, 2011; Levy et al., 2013; Jones & Turner, 1978)

Para los resultados de ambas variables, se puede observar que existe diferencia entre tratamientos, más esta diferencia no presenta una tendencia para correlacionar los genotipos de mayores rendimientos con el contenido relativo de agua o el potencial osmótico.

#### **4. Transpiración total y área foliar**

La transpiración total presenta una interacción genotipo con tratamiento ( $p = 0,018$ ) lo que indica que existe influencia del efecto de la sequía regulada sobre las plantas en donde las plantas que presentaron mayor transpiración fueron las plantas bien regadas (Anexo 5). Los clones con mayor transpiración bajo condiciones de riego fueron los genotipos CIP398098.119 con 10.43 l ; CIP398208.219 con 9.99 l y CIP398192.592 con 9.54 l. Y los genotipos que tuvieron un tasa mayor de transpiración en sequía regulada fueron los genotipos CIP398098.119 con 6.29 l; CIP398208.620 con 5.47 l y CIP398192.592 con 5.33 l. También se observa un comportamiento atípico del genotipo CIP720088, que tanto en condiciones de riego y de sequía controlada posee una tasa baja de transpiración, 3.37 l y 2.33 l respectivamente (Fig. 12).

Para la variable área foliar, se observa una interacción significativa del tratamiento sobre los genotipos estudiados ( $p < 0,001$ ) (Anexo 6). Lo que nos indica que las plantas de papa responden a la sequía con cambios en el área foliar. Los genotipos en riego que presentaron mayor área foliar fueron CIP398098.119 con 10287.8  $cm^2$  ; CIP398208.219 con 9669  $cm^2$  y CIP398208.704 con 8878.8  $cm^2$ . Y el genotipo CIP720088 presenta un comportamiento atípico ya que su área foliar en sequía regulada como riego presenta área foliar reducida 680.6 y 1374  $cm^2$  respectivamente (Fig. 12).

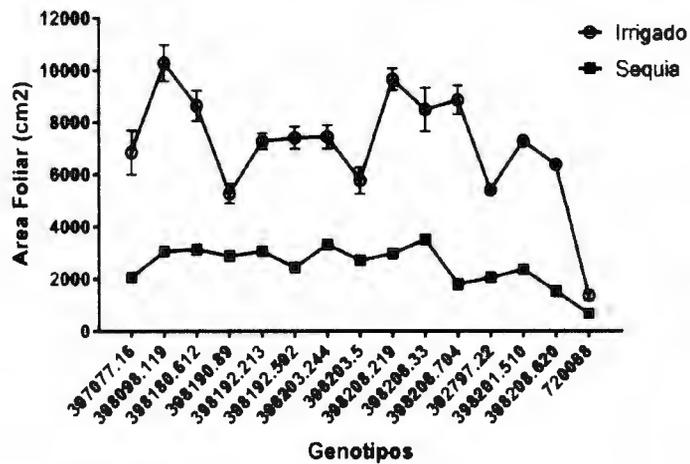


Figura 12: Área Foliar

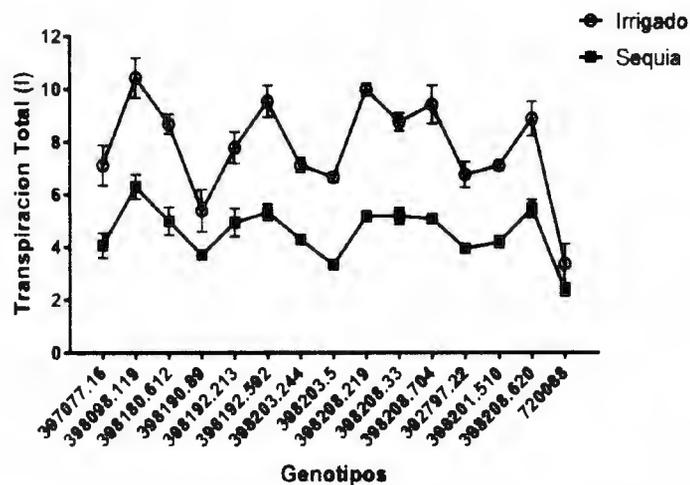


Figura 13: Transpiración Total

Los resultados muestran que la transpiración tiene una correlación alta con el área foliar ( $r = 0,88$ ) y la biomasa total ( $r = 0,93$ ) y con el peso seco de tubérculo ( $r = 0,75$ ) (Anexo C). La reducción del área foliar y la aceleración de la senescencia son respuestas comunes del estrés por sequía. El área foliar contribuye al rendimiento pero al mismo tiempo es el factor de la supervivencia de la planta bajo déficit hídrico (Ludlow & Muchow, 1990). La pérdida de cobertura de la planta es causada por el marchitamiento de la hoja, lo que conlleva a la pérdida de turgencia durante la senescencia (Nilsen & Orcutt, 1996), relacionado también a la reducción del contenido relativo de agua.

El vigor prematuro (desarrollo rápido del área foliar) es una adaptación importante en trigo y cebada para tolerancia al estrés abiótico. Lo que convierte un objetivo de los programas de mejoramiento, para encontrar parentales con crecimiento foliar prematuro (Condon et al., 2004). Sin embargo, una de las complicaciones es que las plantas con área específica baja, está asociado con un bajo índice de cosecha (Wright et al., 1993). También la tendencia a la selección de individuos con área foliar alta debe ser evitada durante la selección ya que no significa que estas plantas tengan mayores rendimientos.

La selección de plantas para una alta producción de biomasa bajo condiciones de sequía requiere del balance entre la maximización de la asimilación de carbono (lo que requiere valores elevados de área foliar y conductancia estomática), y/o la minimización de la transpiración para el mantenimiento de un alto Contenido Relativo de Agua de la hoja (lo que requiere reducida área foliar y baja conductancia estomática) (Teulat et al., 1997).

Los resultados muestran que existe diferencia entre tratamientos y genotipos, más esto no muestra una tendencia entre los genotipos con mayores rendimientos, en dos genotipos tanto el área foliar como la transpiración no muestran diferencia significativa, esto se puede deber a la precocidad de los dichos genotipos que le permitió escapar de la sequía controlada y cumpliendo su periodo fenológico sin causar alguna diferencia entre tratamientos.

## **5. Eficiencia de Uso de Agua en la biomasa y tubérculos**

De acuerdo a los resultados no que existe diferencia significativa entre tratamientos ( $p = 0,08$ ) para la eficiencia de uso de agua en tubérculo ( $EUAT_T$ ) más si entre genotipos con ( $p < 0,001$ ) (Anyia, 2004) (Anexo 7) . Los genotipos que presentaron mayor EUAT fueron CIP397077.16 con 7.95 g/l; CIP398208.620 con 7.34 g/l y CIP392797.22 con 7.31 g/l. Los genotipos que presentaron los valores más bajos en EUAT fueron CIP398201.510 con 3.54 g/l ; CIP398180.612 con 3.19 g/l y CIP398203.244 con 1.53 g/l (Fig. 14).

Para le eficiencia de uso de agua en relación a la biomasa, existe diferencia significativa tanto para los tratamientos y los genotipos con  $p = 0,002$  y  $p < 0,001$  respectivamente (Anexo C). El promedio para el tratamiento de sequía regulada fue 11.12 g/l y 9.41 g/l para las plantas bien regadas. Los genotipos que presentaron mayor EUA fueron los genotipos CIP397077.16 con 12.51 g/l; CIP392797.22 con 12.04 g/l y CIP398208.620 con 11.51 g/l y los genotipos que presentaron los valores más bajos fueron CIP720088 con 9.37 g/l ; CIP398201.510 con 9.29 g/l y CIP398180.612 con 9.17 g/l Fig. 15).

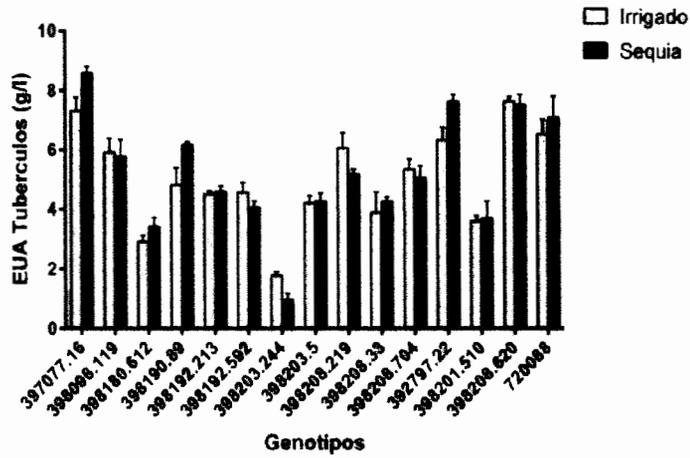


Figura 14: Eficiencia de uso de agua en tubérculos

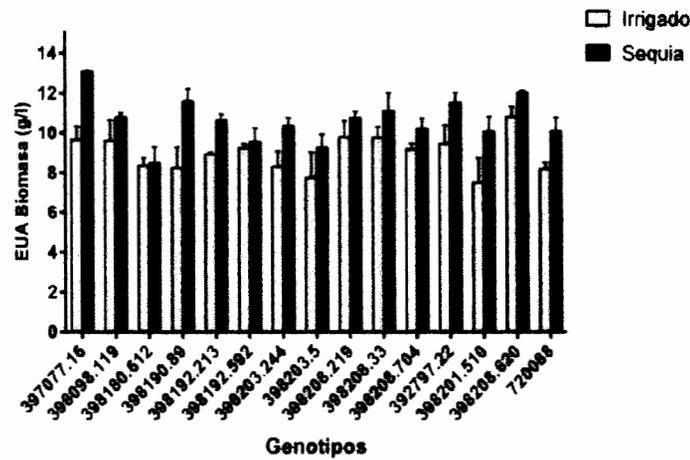


Figura 15: Eficiencia de uso de agua en biomasa

La eficiencia de uso de agua de toda la planta, a menudo es referida como eficiencia de transpiración, es definida como la relación de la biomasa producida de la planta relacionada con la transpiración (Morison et al., 2008). Según Condon et al. (2004) el potencial para mejorar la eficiencia de uso agua es mejorar la eficiencia de transpiración. El cultivo de papa es particularmente sensible al estrés por sequía y por consiguiente usa una cantidad desproporcionada de agua para mantener el rendimiento y la calidad de tubérculo (Porter et al., 1999).

La eficiencia de uso de agua bajo condiciones de estrés es uno de las variables más

prometedoras para mejorar y estabilizar el rendimiento de los cultivos antes deficiencias de agua intermitentes (Bhatnagar-Mathur et al., 2007). La eficiencia de uso de agua en papa es un factor ampliamente variable, dependiendo de las condiciones medioambientales y su magnitud espacial y temporal (Monneveux et al., 2013).

Para los fisiólogos, la unidad básica de la producción está dado por los moles de carbono ganado en la fotosíntesis en el intercambio de agua usada en la transpiración. Por eso la definición fisiológica puede ser representada en los niveles más básicos como la eficiencia de uso de agua instantánea durante intercambio de gases de la hoja. Para los agricultores y agrónomos, la unidad de producción está más asociada al rendimiento de las cosecha en relación a la cantidad de agua disponible para el cultivo durante su periodo vegetativo (Condon et al., 2004).

Los resultados muestran, que para ambos casos para la variable eficiencia de uso de agua en biomasa y en tubérculo, existe una tendencia a que los genotipos que muestran mayor eficiencia de uso de agua en promedio, como en tratamiento de sequía son los que presentan mayor rendimiento. Siendo esta variable un indicador para la selección de genotipos con tolerancia al estrés hídrico que presenten rendimientos aceptables.

## **6. Eficiencia de Uso de Agua en tubérculos e índice de Cosecha**

Existe diferencia significativa entre los genotipos para índice de tolerancia a la reducción de agua ( $p = 0,029$ ) (Anexo 15). Los genotipos que presentaron mayores promedio para esta variable fueron CIP398190.89 con 104.09 ; CIP392797.22 con 75.75 y CIP398208.33 con 71.96 y los genotipos que presentaron los valores más bajos fueron CIP398201.510 con 48.88 ; CIP398208.219 con 46.75 y CIP398203.244 con 31.56 (Fig. 16).

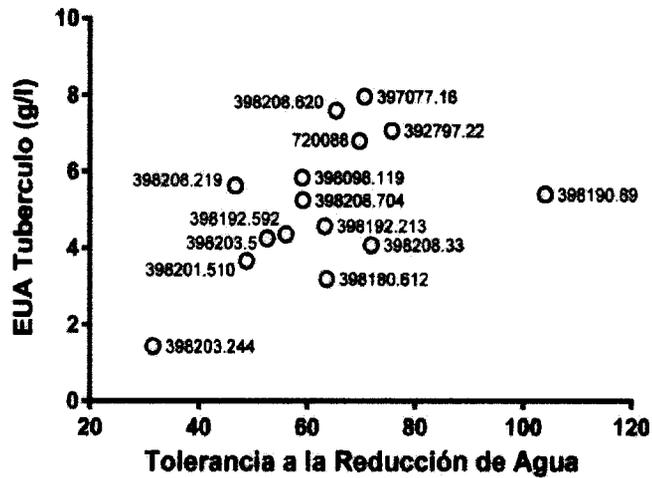


Figura 16: Clones con tolerancia al estrés por sequía en base a la eficiencia de uso de agua

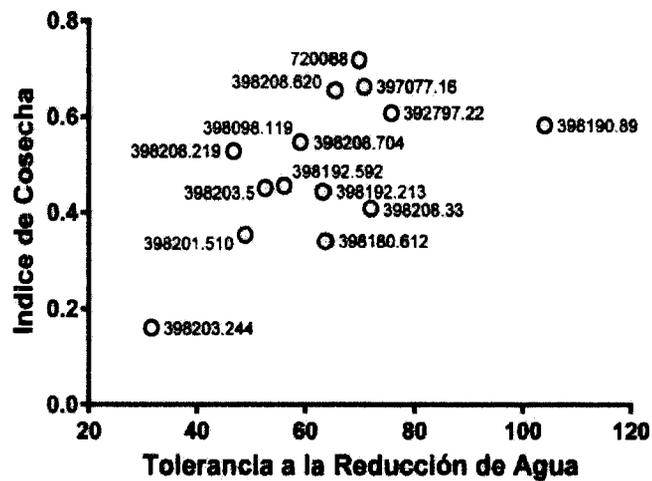


Figura 17: Clones con tolerancia al estrés por sequía en base al índice de cosecha

La papa, es un cultivo sensible a la sequía (Yuan et al., 2003), pero bajo condiciones de secano, rinde más por metro cuadrado que otros cultivos (FAO, 2008). Sin embargo esa vulnerabilidad esta atribuida a su sistema de raíces poco profundas y su baja capacidad de recuperación después de un periodo de estrés por agua. La sequía reduce el crecimiento de las plantas, acorta el ciclo del cultivo y reduce el número y tamaño de los tubérculos en papa. Los cultivares modernos de papa son altamente susceptibles al estrés por sequía (Wishart et al., 2012)

El reto, como el ejemplo en los cereales es encontrar los componentes del rendimiento que son críticamente afectados por el estrés por sequía y la combinación de variables que mejoren la tolerancia a la sequía sin causar disminución de la calidad y el rendimiento. La aplicación gradual de estrés por periodos superiores a 3 semanas lleva a la reducción de la altura de las plantas, reducción del área foliar, reducción en la biomasa del brote y disminución del área específica de la hojas (Coleman, 2008) y el índice de cosecha. Cabe recalcar que la tolerancia tiende a ser específica para cada ambiente y depende del tipo de suelo, la intensidad de la luz, la demanda evapotranspirativa entre otros (Tardieu, 2012).

La eficiencia de uso de agua en tubérculos ( $g/l$ ) posee una correlación alta con el índice de cosecha ( $r = 0,912$ ) (Fig. 18) . Adicionalmente el peso seco de la biomasa tiene correlación alta con la transpiración total  $r = 0,928$  ( $p < 0,001$ ) (Anexo C).

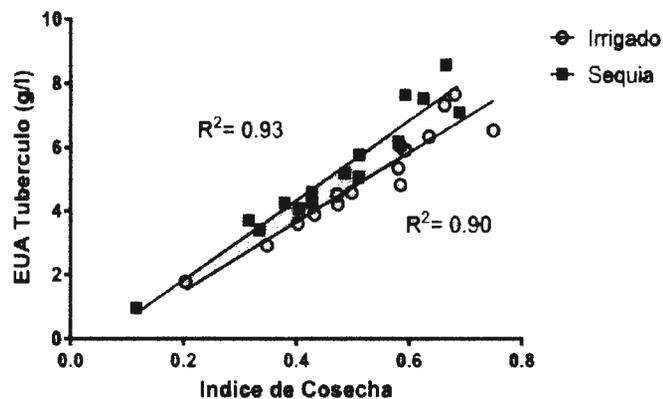


Figura 18: Transpiración e Índice de Cosecha

Esto se debe a que si comparamos matemáticamente las 2 variables guardan en si relación en el cálculo:

$$EUA = \frac{PS_{Tuberculo}}{TT}$$

$$IC = \frac{PS_{Tuberculo}}{PS_{Biomasa}}$$

Donde:

- $PS_{Tuberculo}$  (g): Peso Seco de Tubérculo

- TT (ml): Transpiración Total
- $PS_{Biomasa}$  (g): Peso Seco de Biomasa

Donald (1962) definió el índice de cosecha, como el rendimiento económico expresado en relación a la fracción total de rendimiento biológico en cereales. Este valor será expresado en peso seco (Donald & Hamblin, 1976). Existe una creciente evidencia, por la alta heredabilidad del índice de Cosecha, puede ser un índice de la respuesta de los cultivos al cambio climático (HAY, 1995).

Cultivos con tubérculos, la papa en particular, existe una serie de dificultades en particular el problema con la cosecha por debajo del suelo. El índice de cosecha en papa aumenta progresivamente desde el inicio de la tuberización (Hay & Walker, 1989). Si el cultivo es permitido y llevado más allá de la madurez, mucha biomasa aérea es perdida por senescencia, dando como resultado un valor alto y no real (Ezekiel, 1990). Esto demuestra claramente la importancia de la fecha de muestreo. La papa posee un índice de cosecha entre 0.47 - 0.62 (Knowles & Botar, 1992).

Existen numerosos índices basados en el rendimiento, relacionando matemáticamente el rendimiento bajo sequía y plantas bien regadas, también ha sido propuesto caracterizar el comportamiento de los genotipos en ambientes con estrés y sin estrés para seleccionar genotipos con tolerancia (Mitra, 2001). Los resultados de este estudio demuestran que el índice de Cosecha es una herramienta importante y de cálculo fácil que puede ayudar en la selección prematura de materiales que posean alta eficiencia en el uso del agua y rendimientos aceptables en condiciones de sequía.

## **V. Conclusiones**

1. De las variables estudiadas, el índice de cosecha es fácil de ser calculada y muestra una correlación alta con la eficiencia de uso de agua en tubérculos, por lo que podría ser utilizado como criterio de selección para genotipos que presenten tolerancia a la sequía. La metodología del lisímetro para calcular eficiencia de uso de agua es un método muy preciso para experimentos fisiológicos sin embargo es costoso, poco práctico y dificulta su uso en campo.
2. Los genotipos, CIP398190.89 , CIP397077.16 , CIP392797.22 , CIP398208.620 mostraron una mayor eficiencia en el uso de agua bajo condiciones de sequía sin que esto produzca una reducción drástica en el rendimiento.

## **VI. Recomendaciones**

1. Trabajar con genotipos que posean similar madurez fisiológica para determinar si la tolerancia a la sequía es causada por la precocidad de los genotipos o por los mecanismos que despliega la planta para tolerar la sequía.
2. Evaluar la cobertura de las plantas a través de su crecimiento para determinar si los genotipos que presentan un desarrollo rápido al inicio de su crecimiento son los que toleran mejor el estrés hídrico por sequía.
3. Realizar las mediciones fisiológicas con mayor frecuencia, en intervalos no muy amplios para determinar el cambio que existe en las plantas sometidas a sequía y poder correlacionar la respuesta con la evaluación de variables.

## Bibliografía

- Ahmad, R; Qadir, S; Ahmad, N; Shah, KH. 2003. Yield potential and stability of nine wheat varieties under water stress conditions. *Int. J. Agric. Biol* 5(1).
- Alfonso, R. 1997. I curso de capacitacion en Mejoramiento genético en arroz. 1997: 1-25.
- Barrantes, JAG. 1993. Estudio del efecto del déficit hídrico y de la fertilización potásica en algunas características morfo-fisiológicas y en el rendimiento de plantas de papa provenientes de semilla sexual. s.l.,
- Bhatnagar-Mathur, P; Devi, MJ; Reddy, DS; Lavanya, M; Vadez, V; Serraj, R; Yamaguchi-Shinozaki, K; Sharma, KK. 2007. Stress-inducible expression of At DREB1A in transgenic peanut (*Arachis hypogaea* L.) increases transpiration efficiency under water-limiting conditions. *Plant cell reports* 26(12): 2071-82.
- Blum, A. 2011. Drought resistance, is it really a complex trait? *Functional Plant Biology* 38(10): 753.
- Cabello, R; Monneveux, P; Mendiburu, F; Bonierbale, M. 2013. Comparison of yield based drought tolerance indices in improved varieties, genetic stocks and landraces of potato (*Solanum tuberosum* L.) (En ga.: s & ns > ygb.: ns > ygc.: s > ygd.: s & ns < y). *Euphytica* 193(2): 147-156.
- Coleman, WK. 2008. Evaluation of wild *Solanum* species for drought resistance. *Environmental and Experimental Botany* 62(3): 221-230.
- Condon, a G; Richards, R a; Rebetzke, GJ; Farquhar, GD. 2004. Breeding for high water-use efficiency. *Journal of experimental botany* 55(407): 2447-2460.
- Deblonde, PMK; Ledent, JF. 2001. Effects of moderate drought conditions on green leaf number, stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars. *European Journal of Agronomy* 14(1): 31-41.
- Donald, C. 1962. In search of yield. *Journal of Australian Institute of Agricultural Sciences* 28: 171-178.
- Donald, CM; Hamblin, J. 1976. The Biological Yield and Harvest Index of Cereals as Agronomic and Plant Breeding Criteria. *Advances in Agronomy* 28: 361-405.
- EMBRAPA. 2014. Labimagem - Embrapa Instrumentação Agropecuária. EMBRAPA leaf area root scansiscob. Consultado 20 jun. 2014. Disponible en

<http://labimagem.cnpdia.embrapa.br/>

Estuardo, J; Robles, A; Felipe, E; García, M. 2013. Respuesta de niveles crecientes de NK en la producción de cebolla ( *Allium cepa* L .) var . « Roja Arequipeña » Variable to increasing levels of NK in the production of onion ( *Allium cepa* L .) var . « Roja Arequipeña ». 4: 15-25.

Ezekiel, R. 1990. Physiological analysis of seasonal variation in the growth and yield of the potato crop. *Indian Journal of Plant Physiology* 33(2): 136-140.

Fabeiro, C; Olalla, FM de S; Juan, JA de. 2001. Yield and size of de deficit irrigated potatoes. *Agricultural Water Management* 48: 255-266.

FAO. 2008. New light on a hidden treasure. 2008: 138.

\_\_\_\_\_. 2014. Crop Water Information: Potato. Consultado 18 jun. 2014. Disponible en [http://www.fao.org/nr/water/cropinfo\\_potato.html](http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_potato.html)

Ferri, CP; Formaggio, AR; Schiavinato, MA. 2004. Narrow band spectral indexes for chlorophyll determination in soybean canopies [ *Glycine max* ( L .) Merrill ]. *Braz. J. Plant Physiol.* 16(3): 131-136.

HAY, RKM. 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology* 126(1): 197-216.

Hay, RKM; Walker, AJ. 1989. Introduction to the physiology of crop yield. 1989.

Hörtensteiner, S. 2009. Stay green regulates chlorophyll and chlorophyll binding protein degradation during senescence. *Trends in Plant Science* 14: 155-162.

Huamán, Z. 1986. Botánica sistemática y morfología de la papa. s.l., International Potato Center, 22.

INIAP. 2014. Las papas nativas y su importancia en la salud y la alimentación. Consultado 18 jun. 2014. Disponible en [http://www.iniap.gob.ec/nsite/index.php?option=com\\_content&view=article&id=658:las-papas-nativas-y-su-importancia-en-la-salud-y-la-alimentacion&catid=97&Itemid=208](http://www.iniap.gob.ec/nsite/index.php?option=com_content&view=article&id=658:las-papas-nativas-y-su-importancia-en-la-salud-y-la-alimentacion&catid=97&Itemid=208)

IRRI. 2014. Drought tolerance: Screening methods. Consultado 18 jun. 2014. Disponible en [http://www.knowledgebank.irri.org/ricebreedingcourse/Breeding\\_for\\_drought\\_resistance.htm](http://www.knowledgebank.irri.org/ricebreedingcourse/Breeding_for_drought_resistance.htm)

- Jacobsen, S-E; Mujica, A; Jensen, CR. 2003. The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Adverse Abiotic Factors. *Food Reviews International* 19(1-2): 99-109.
- Jones, MM; Turner, NC. 1978. Osmotic Adjustment in Leaves of Sorghum in Variable to Water Deficits. *PLANT PHYSIOLOGY* 61(1): 122-126.
- Knowles, NR; Botar, GI. 1992. Effect of altering the physiological age of potato seed-tubers in the fall on subsequent production in a short-season environment. *Canadian Journal of Plant Science* 72(1): 275-287.
- Kumar, a.; Singh, DP; Singh, P. 1994. Influence of water stress on photosynthesis, transpiration, water-use efficiency and yield of *Brassica juncea* L. *Field Crops Research* 37(2): 95-101.
- Levitt, J. 1980. Variables of plants to environmental stresses, Volume 2. s.l., Academic Press, 607.
- Levy, D; Coleman, WK; Veilleux, RE. 2013. Adaptation of Potato to Water Shortage: Irrigation Management and Enhancement of Tolerance to Drought and Salinity. *American Journal of Potato Research* 90(2): 186-206.
- Li, L; Qin, Y; Liu, Y; Hu, Y; Fan, M. 2012. Leaf Positions of Potato Suitable for Determination of Nitrogen Content with a SPAD Meter. *Plant Production Science* 15(4): 317-322.
- Ludlow, MM; Muchow, RC. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments (En water use efficiency harvest index leaf area osmotic adjustment rooting depth and density). *Advances in Agronomy* 43.
- MINAG. 2014. Papa. Consultado 18 jun. 2014. Disponible en <http://www.minag.gob.pe/portal/sector-agrario/agricola/cultivos-de-importancia-nacional/papa>
- Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science* 80(6).
- Monneveux, P; Ramírez, D a; Pino, M-T. 2013. Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.): Can we learn from drought tolerance research in cereals? (En *gráficoographics*). *Plant science : an international journal of experimental plant biology* 205-206: 76-86.
- Montgomery, DC. 1999. Experimental Design for Product and Process Design and Development. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)* 48(2):

159-177.

Morison, JIL; Baker, NR; Mullineaux, PM; Davies, WJ. 2008. Improving water use in crop production. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 363(1491): 639-58.

Nilsen, ET; Orcutt, DM. 1996. *Physiology of plants under stress. Abiotic factors.* 1996.

Passioura, JBB; Angus, JFF. 2010. *Improving Productivity of Crops in Water-Limited Environments.* 1 ed. s.l., Elsevier INC, v.106, 37-76.

Porter, GA; Bradbury, WB; Sisson, JA; Opena, GB; McBurnie, JC. 1999. Soil Management and Supplemental Irrigation Effects on Potato: I. Soil Properties, Tuber Yield, and Quality. *Agronomy Journal* 91(3): 416.

Ramírez, D a.; Yactayo, W; Gutiérrez, R; Mares, V; De Mendiburu, F; Posadas, a.; Quiroz, R. 2014. Chlorophyll concentration in leaves is an indicator of potato tuber yield in water-shortage conditions. *Scientia Horticulturae* 168: 202-209.

Rosielle, AA; Hamblin, J. 1981. Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environment1 (En from duplicate 2 ( theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments - rosielle, a a; hamblin, j )). *Crop Science* 21(6): 943.

Sinclair, TR; Tanner, CB; Bennett, JM. 1984. Water-Use Efficiency in Crop Production. *BioScience* 34: 36-40.

Spitters, CJT; Schapendonk, AHCM. 1990. Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by Promedios of crop growth simulation. *Plant Soil* 123: 151-161.

Tardieu, F. 2012. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. *Journal of experimental botany* 63(1): 25-31.

Teulat, B; Monneveux, P; Wery, J; Borries, C; Souyris, I; Charrier, A; This, D. 1997. Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. *New Phytologist* 137(1): 99-107.

Thomas, H; Smart, CM. 1993. Crops that stay green. *Annals of Applied Biology* 123(1): 193-219.

Troyo-Diéguez, E; Murillo-Amador, B; Rueda-Puente, EO; Nieto-Garibay, A; Valdez-Cepeda, RD; Fraga-Palomino, HC; García-Hernández, JL. 2007. Para estudiar especies horticolas bajo agobio hídrico: Revisión Conceptual y metodológica (En método para estimar el potencial osmótico mediante las curvas presión-volumen). *Revista Chapingo*

Serie Horticultura 13(2): 193-200.

Valladares, F; Vilagrosa, A; Peñuelas, J; Ogaya, R; Julio, J; Corcuera, L; Sisó, S. 2004. Estrés hídrico : ecofisiología y escalas de la sequía. 2004: 163-190.

Warwick, NWM. 2006. Water relations of phyllodinous and non phyllodinous Acacias, with particular reference to osmotic adjustment. *Physiologia Plantarum* 127(3): 393-403.

Wishart, J; George, TS; Brown, LK; Ramsay, G; Bradshaw, JE; White, PJ; Gregory, PJ. 2012. Measuring variation in potato roots in both field and glasshouse: the search for useful yield predictors and a simple screen for root traits. *Plant and Soil* 368(1-2): 231-249.

Genetic and environmental variation in transpiration efficiency and its correlation with carbon isotope discrimination and specific leaf area in peanut. (1993, s.l.). 1993. Ed. Wright, GC; Hubick, KT; Farquhar, GD; Nageswara, RC; Ehleringer, JR; Hall, AE. s.l., Academic Press Inc. 247-267p.

Xu, H; Qin, F; Xu, Q; Tan, J; Liu, G. 2011. Applications of xerophytophysiology in plant production. The potato crop improved by partial root zone drying of early season but not whole season. *Scientia Horticulturae* 129(4): 528-534.

Yactayo, W; Ramírez, D a.; Gutiérrez, R; Mares, V; Posadas, A; Quiroz, R. 2013. Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management* 123: 65-70.

Yamamoto, A; Nakamura, T; Adu-Gyamfi, JJ; Saigusa, M. 2002. Relationship between chlorophyll content in leaves of sorghum and pigeonpea determined by extraction method and by chlorophyll meter (SPAD-502). *Journal of Plant Nutrition* 25(10): 2295-2301.

Yuan, B-Z; Nishiyama, S; Kang, Y. 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. *Agricultural Water Management* 63(3): 153-167.

## Anexo A Partición de la biomasa total

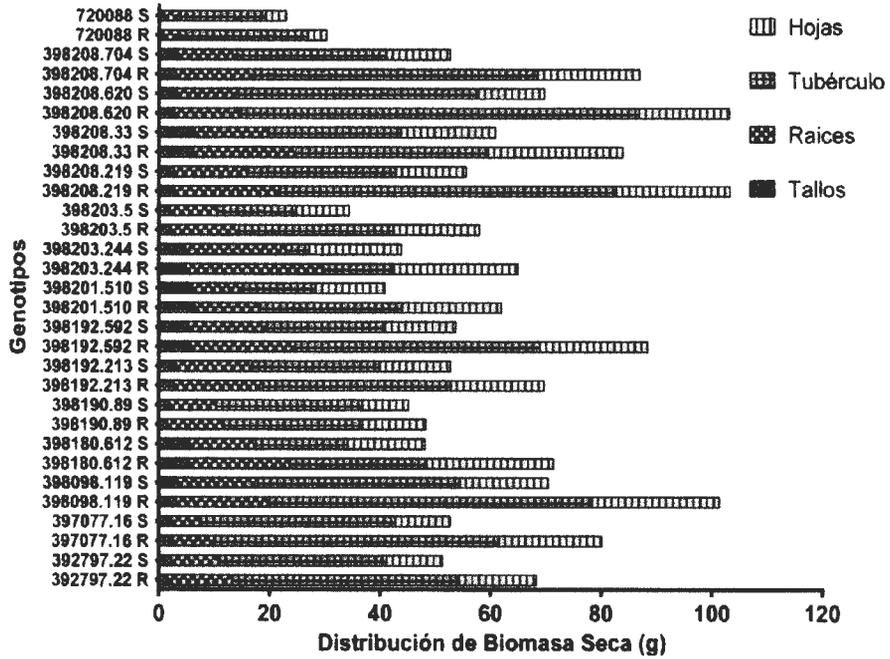


Figura 19: Partición de la biomasa total por tratamiento y genotipo

## Anexo B Análisis de componentes principales

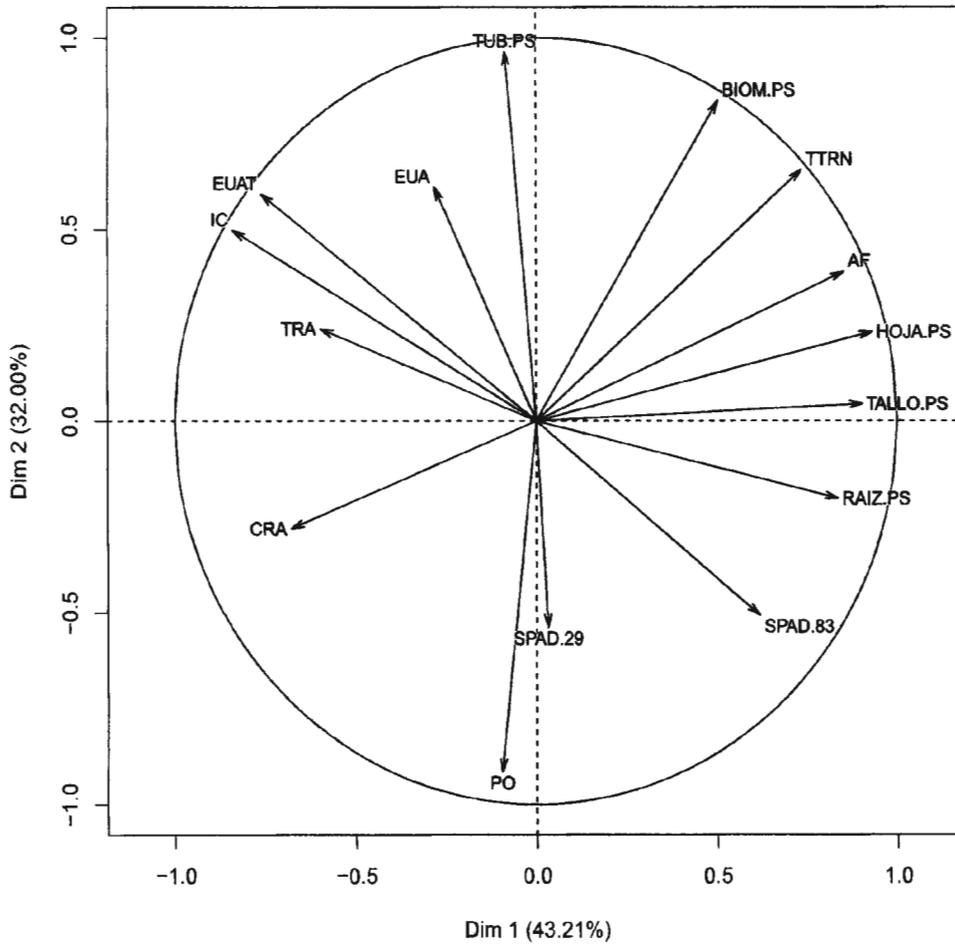


Figura 20: Análisis de componentes principales para las variables en estudio

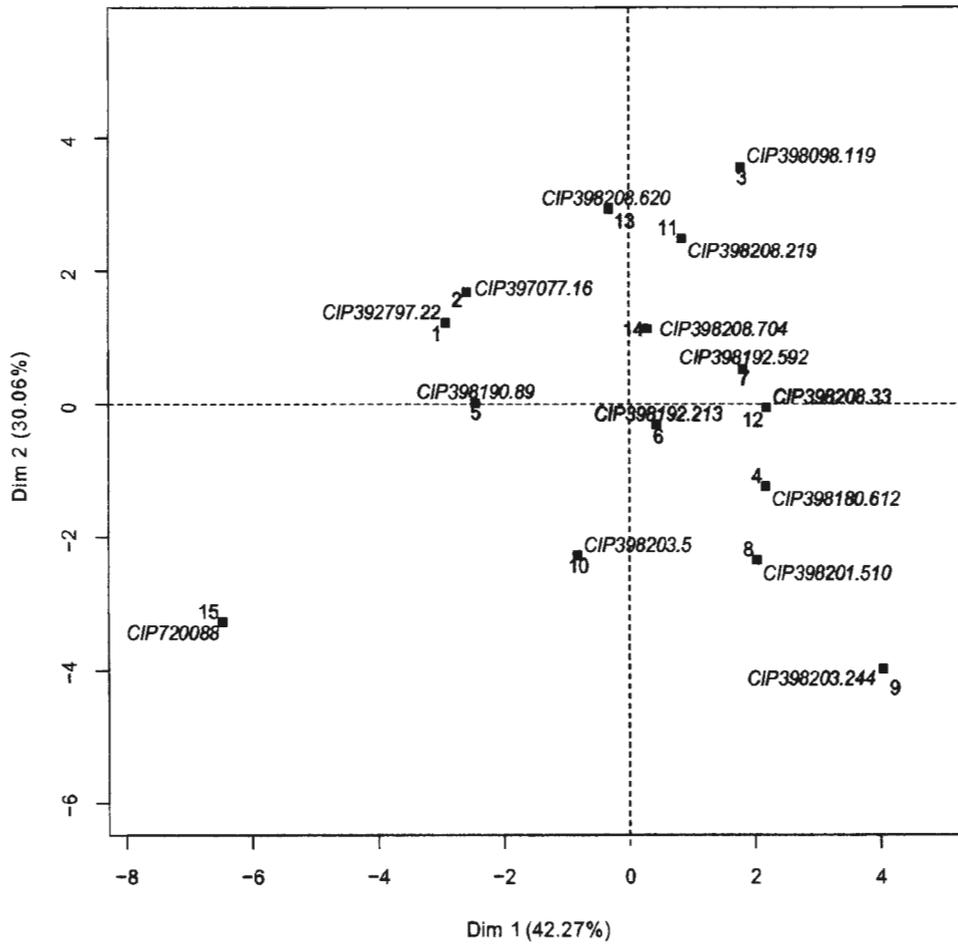


Figura 21: Análisis de componentes principales para los genotipos en estudio

## Anexo C Tabla de correlación de Pearson

Análisis de Correlación

Método : Pearson

	BIOM.PS	TRA	IC	AF	HOJA.PS	PO	RAIZ.PS	CRA	SPAD.29	SPAD.83	TALLO.PS	TTRN	TUB.PS	EUAT	EUA
BIOM.PS	1.00	-0.23	0.01	0.71	0.67	-0.76	0.24	-0.53	-0.41	-0.07	0.51	0.92	0.80	0.15	0.42
TRA	-0.23	1.00	0.59	-0.37	-0.50	-0.28	-0.42	0.06	0.02	-0.58	-0.55	-0.24	0.19	0.53	0.26
IC	0.01	0.59	1.00	-0.55	-0.69	-0.40	-0.76	0.40	-0.24	-0.73	-0.78	-0.28	0.58	0.96	0.49
AF	0.71	-0.37	-0.55	1.00	0.90	-0.47	0.56	-0.61	-0.30	0.25	0.79	0.88	0.24	-0.47	-0.07
HOJA.PS	0.67	-0.50	-0.69	0.90	1.00	-0.26	0.74	-0.60	0.00	0.46	0.87	0.83	0.14	-0.55	0.03
PO	-0.76	-0.28	-0.40	-0.47	-0.26	1.00	0.00	0.42	0.44	0.43	-0.04	-0.67	-0.84	-0.46	-0.39
RAIZ.PS	0.24	-0.42	-0.76	0.56	0.74	0.00	1.00	-0.64	0.41	0.59	0.63	0.51	-0.26	-0.70	-0.38
CRA	-0.53	0.06	0.40	-0.61	-0.60	0.42	-0.64	1.00	-0.07	-0.41	-0.48	-0.67	-0.24	0.33	0.07
SPAD.29	-0.41	0.02	-0.24	-0.30	0.00	0.44	0.41	-0.07	1.00	0.49	-0.15	-0.32	-0.44	-0.18	-0.01
SPAD.83	-0.07	-0.58	-0.73	0.25	0.46	0.43	0.59	-0.41	0.49	1.00	0.45	0.08	-0.44	-0.67	-0.27
TALLO.PS	0.51	-0.55	-0.78	0.79	0.87	-0.04	0.63	-0.48	-0.15	0.45	1.00	0.70	-0.07	-0.71	-0.18
TTRN	0.92	-0.24	-0.28	0.88	0.83	-0.67	0.51	-0.67	-0.32	0.08	0.70	1.00	0.57	-0.18	0.13
TUB.PS	0.80	0.19	0.58	0.24	0.14	-0.84	-0.26	-0.24	-0.44	-0.44	-0.07	0.57	1.00	0.68	0.66
EUAT	0.15	0.53	0.96	-0.47	-0.55	-0.46	-0.70	0.33	-0.18	-0.67	-0.71	-0.18	0.68	1.00	0.69
EUA	0.42	0.26	0.49	-0.07	0.03	-0.39	-0.38	0.07	-0.01	-0.27	-0.18	0.13	0.66	0.69	1.00

## Anexo D Análisis de variancias (ANVA)

### 1. SPAD 29 días después de la siembra

ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: SPAD.29

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

Tabla de Análisis de Variancia

Variable: SPAD.29

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)
Bloques	4	26.27	6.567	0.5482	0.7126
Tratamientos	1	12.87	12.866	1.0741	0.3586
Ea	4	47.91	11.978		
Genotipos	14	2396.29	171.163	19.0530	<2e-16 ***
Tratamientos:Genotipos	14	146.78	10.484	1.1671	0.3103
Eb	112	1006.16	8.984		

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 cv(a) = 6.1 %, cv(b) = 5.3

%, Promedio =56.36487

### 2. SPAD 83 días después de la siembra

## ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: SPAD.83

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

Tabla de Análisis de Variancia

Variable: SPAD.83

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)	
Bloques	4	87.52	Sq	4.1078	0.099980	.
Tratamientos	1	722.05	722.05	135.5640	0.000311	***
Ea	4	21.30	5.33			
Genotipos	14	1951.83	139.42	9.6797	9.381e-14	***
Tratamientos:Genotipos	14	436.61	31.19	2.1653	0.013299	*
Eb	112	1613.14	14.40			

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 cv(a) = 5.5 %, cv(b) = 9.1

%, Promedio =41.90333

### 3. Contenido Relativo de Agua

## ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: CRA

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

Tabla de Análisis de Variancia

Variable: CRA

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)	
Bloques	4	165.6	41.4	0.6151	0.6753327	
Tratamientos	1	4635.9	4635.9	68.8788	0.0011510	**
Ea	4	269.2	67.3			
Genotipos	14	1041.9	74.4	3.1066	0.0004146	***
Tratamientos:Genotipos	14	688.9	49.2	2.0541	0.0196873	*
Eb	112	2683.1	24.0			

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 cv(a) = 12.9 %, cv(b) = 7.7

%, Promedio = 63.4576

#### 4. Potencial Osmótico

##### ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: PO

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

Tabla de Análisis de Variancia

Variable: PO

	Df	Sum Sq	Promedio Sq	F value	Pr(>F)
Bloques	4	0.4465		3.4073	0.1311
Tratamientos	1	12.8330	12.8330	391.7026	3.845e-05 ***
Ea	4	0.1310	0.0328		
Genotipos	14	1.5970	0.1141	1.4138	0.1586
Tratamientos:Genotipos	14	1.5626	0.1116	1.3834	0.1732
Eb	110	8.8750	0.0807		
---					
Signif. :		0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '!' 0.1 ' '1

cv(a) = -7.1 %, cv(b) = -11.1 %, Promedio = -2.550068

## 5. Transpiración Total

ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: TTRN

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

Tabla de Análisis de Variancia

Variable: TTRN

	Df	Sum Sq	Promedio Sq	F value	Pr(>F)
Bloques	4	17.48		2.4207	0.2064185
Tratamientos	1	416.40	416.40	230.6873	0.0001096 ***
Ea	4	7.22	1.81		
Genotipos	14	272.05	19.43	15.4031	<2.2e-16 ***
Tratamientos:Genotipos	14	29.73	2.12	1.6831	0.0689179 .

Eb 112 141.30 1.26

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 '' 1 cv(a) = 21.7 %, cv(b) = 18.2

%, Promedio =6.183467

## 6. Área Foliar

ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: AF

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

Tabla de Análisis de Variancia

Variable: AF

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)	
Bloques	4	9525262	Sq	3.6431	0.1192	
Tratamientos	1	695435132	695435132	1063.9295	5.268e-06	***
Ea	4	2614591	653648			
Genotipos	14	257263248	18375946	29.1475	<2.2e-16	***
Tratamientos:Genotipos	14	100985292	7213235	11.4415	7.661e-15	***
Eb	94	59261901	630446			

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 '' 1 cv(a) = 16.5 %, cv(b) = 16.2

%, Promedio =4898.811

## 7. Eficiencia de uso de agua en tubérculos

ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: EUAT

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

Tabla de Análisis de Variancia

Variable: EUAT

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)
Bloques	4	27.03	6.7569	3.7944	0.11237
Tratamientos	1	1.40	1.4006	0.7865	0.42526
Ea	4	7.12	1.7808		
Genotipos	14	401.13	28.6524	44.3700	< 2e-16 ***
Tratamientos:Genotipos	14	14.29	1.0206	1.5805	0.09622 .
Eb	108	69.74	0.6458		

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 '' 1 cv(a) = 25.7 %, cv(b) = 15.5

%, Promedio =5.190411

## 8. Eficiencia de uso de agua en la Biomasa

ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: EUA

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

#### Tabla de Análisis de Variancia

Variable: EUA

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)	
Bloques	4	11.67	Sq	2.7620	0.1744121	
Tratamientos	1	124.74	124.743	118.1205	0.0004068	***
Ea	4	4.22	1.056			
Genotipos	14	140.52	10.037	3.4357	0.0001204	***
Tratamientos:Genotipos	14	40.39	2.885	0.9874	0.4708769	
Eb	112	327.20	2.921			

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 '' 1 cv(a) = 10 %, cv(b) = 16.6

%, Promedio =10.32753

## 9. Biomasa

#### ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: BIOM.PS

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

#### Tabla de Análisis de Variancia

Variable: BIOM.PS

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)	
Bloques	4	3435	Sq	3.4625	0.1281444	
Tratamientos	1	20737	20736.9	83.6173	0.0007938	***
Ea	4	992	248.0			
Genotipos	14	33364	2383.2	13.3181	<2.2e-16	***
Tratamientos:Genotipos	14	3535	252.5	1.4109	0.1595955	
Eb	112	20042	178.9			

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 cv(a) = 25.3 %, cv(b) = 21.5

%, Promedio =62.33287

## 10. Peso seco de Hojas

ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: HOJA.PS

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

Analysis of Variance Table

Variable: HOJA.PS

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)	
Bloques	4	26.13	6.53	0.7982	0.5837928	
Tratamientos	1	1065.87	1065.87	130.2236	0.0003364	***
Ea	4	32.74	8.18			

Genotipos	14	2437.24	174.09	32.0171 <2.2e-16 ***
Tratamientos:Genotipos	14	172.96	12.35	2.2721 0.0090773 **
Eb	112	608.98	5.44	

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 cv(a) = 19.6 %, cv(b) = 16

%, Promedio =14.61687

## 11. Peso Seco de Tallos

### ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: TALLO.PS

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

Tabla de Análisis de Variancia

Variable:TALLO.PS

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)
Bloques	4	229.8	Sq	2.2120	0.23042
Tratamientos	1	330.5	330.52	12.7277	0.02343 *
Ea	4	103.9	25.97		
Genotipos	14	3623.1	258.79	6.9941	3.779e-10 ***
Tratamientos:Genotipos	14	732.0	52.29	1.4131	0.15858
Eb	112	4144.2	37.00		

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

cv(a) = 39 %, cv(b) = 46.6 %, Promedio = 13.04987

## 12. **Peso Seco de Raíz**

ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: RAIZ.PS

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

Tabla de Análisis de Variancia

Variable: RAIZ.PS

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)
Bloques	4	4.93	1.232	0.2560	0.8923
Tratamientos	1	1.12	1.120	0.2325	0.6548
Ea	4	19.26	4.815		
Genotipos	14	456.29	32.592	49.2211	<2e-16 ***
Tratamientos:Genotipos	14	7.79	0.556	0.8403	0.6245
Eb	112	74.16	0.662		

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 cv(a) = 61.3 %, cv(b) = 22.7

%, Promedio = 3.582267

## 13. **Peso Seco de Tubérculo**

## ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: TUB.PS

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

Tabla de Análisis de Variancia

Variable: TUB.PS

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)
Bloques	4	1797.3	Sq	2.2051	0.231291
Tratamientos	1	9596.4	9596.4	47.0962	0.002361 **
Ea	4	815.0	203.8		
Genotipos	14	20363.2	1454.5	16.8342	< 2.2e-16 ***
Tratamientos:Genotipos	14	2009.2	143.5	1.6610	0.074481 .
Eb	109	9417.9	86.4		

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 cv(a) = 45 %, cv(b) = 29.3

%, Promedio =31.71823

## 14. Índice de cosecha

### ANALISIS DE PARCELAS DIVIDIDAS: IC

Información de las clases

Tratamientos : irrigado sequía

Genotipos : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Bloques : I II III IV V

Número de Observaciones: 150

#### Tabla de Análisis de Variancia

Variable: IC

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)	
Bloques	4	0.06196	Sq	3.2260	0.141481	
Tratamientos	1	0.13121	0.131209	27.3254	0.006395	**
Ea	4	0.01921	0.004802			
Genotipos	14	2.84958	0.203542	36.4520	< 2.2e-16	***
Tratamientos:Genotipos	14	0.13633	0.009738	1.7439	0.056668	.
Eb	111	0.61981	0.005584			

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 cv(a) = 14.1 %, cv(b) = 15.3

%, Promedio = 0.4897987

## 15. Tolerancia a la reducción de agua

#### Tabla de Análisis de Variancia

Variable: TR

	Df	Sum Sq	Promedio	F value	Pr(>F)
Bloques	4	3043.9	760.98	1.7179	0.16505
GENOTIPOS	14	12164.4	868.89	1.9615	0.04823 *
Residuals	40	17718.5	442.96		

---

Signif. : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1