

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**“EFICIENCIA DE USO DE AGUA EN CLONES DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN CONDICIONES DE COSTA CENTRAL”**

**Tesis para optar el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**DIANA CAROLINA BELLO DÍAZ**

**LIMA - PERÚ**

**2019**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24 Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**

“EFICIENCIA DE USO DE AGUA EN CLONES DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.)  
EN CONDICIONES DE COSTA CENTRAL”

**DIANA CAROLINA BELLO DÍAZ**

Tesis para optar el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

.....

Ing. Mg. Sc. Lorenzo Miguel Hurtado Leo

**PRESIDENTE**

.....

Ing. Mg. Sc. Rolando Percy Egúsquiza Bayona

**ASESOR**

.....

Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto

**MIEMBRO**

.....

Dr. Hugo Soplín Villacorta

**MIEMBRO**

LIMA - PERÚ

2019

## **DEDICATORIA**

mis tres hijitos que con su existencia me alientan para seguir mi pasión por la ciencia  
de la vida

## **AGRADECIMIENTO**

A Raymundo, que por sus arduos esfuerzos a sabido sacar a sus hijos adelante,  
A mis preciosas hermanitas, que con su amor me han dado fuerzas para no rendirme,  
A mi madre, que con su amor sacrificado me ha hecho quien soy, y por ultimo...  
A mi padre, quiero agradecerle esas últimas palabras que fueron muchas veces mi luz en  
la oscuridad: “No sabes hijita todo lo grandioso que te falta por vivir”.

## INDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISION DE LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
2.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE LA PAPA .....	2
2.2. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE PAPA .....	2
2.3. ESTADO HÍDRICO DEL SUELO Y PLANTA .....	3
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
3.1. UBICACIÓN Y CONDICIONES AMBIENTALES DEL EXPERIMENTO .....	20
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS DE COLECTA DE DATOS .....	22
3.3. PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍAS .....	23
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>40</b>
4.1. EFICIENCIA DE USO DE AGUA .....	40
4.1.1 MÉTODO LISIMÉTRICO O TOTALIZADOR (EUA_LM; G KG <sup>-1</sup> ) .....	40
4.1.2. MÉTODO INSTANTÁNEO USANDO EL LI-6400XT: (EUA_LI-COR, μMOL CO <sub>2</sub> MMOL <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O).....	41
4.1.3 CORRELACIÓN DE DATOS DE EUA ENTRE EL MÉTODO TOTALIZADOR Y EL MÉTODO.....	42
INSTANTÁNEO .....	42
4.2 TRANSPIRACIÓN TOTAL DE LOS CLONES .....	43
4.3. FOTOSÍNTESIS NETA: PHOTO (μMOL CO <sub>2</sub> M <sup>-2</sup> S <sup>-1</sup> ) .....	46
4.5. ALTURA DE PLANTA (CM) .....	49
4.6. BIOMASA FRESCA TOTAL: BFT (G PTA <sup>-1</sup> ) .....	51
4.7. BIOMASA SECA TOTAL: BDT (G PTA <sup>-1</sup> ) .....	52
4.8. PESO FRESCO DE TUBERCULOS: PFTUB (G PTA <sup>-1</sup> ) .....	53
4.9. AREA FOLIAR: AF (CM <sup>2</sup> ).....	55
4.10. CORRELACIONES ENTRE VARIABLES .....	56
<b>V.CONCLUSIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>60</b>
<b>IX. ANEXOS .....</b>	<b>66</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Análisis químico del sustrato experimental.....	21
Cuadro 2: Análisis de agua de riego aplicada.....	21
Cuadro 3. Características de los clones de papa utilizados en el experimento.....	23
Cuadro 4: Tabla del análisis de varianza para el diseño factorial de dos factores, modelo con efectos fijos.....	38
Cuadro 5: Promedio de la Eficiencia de Uso de Agua en plantas de clones de papa bajo condiciones de sequía y riego normal. Método Lisimétrico ( $\text{g Kg}^{-1}$ ).....	41
Cuadro 6: Promedio de la Eficiencia de Uso de Agua en plantas de clones de papa bajo condiciones de sequía y riego normal. Método Instantáneo ( $\text{LI-COR } \mu\text{mol CO}_2\text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ ).....	42
Cuadro 7: Promedios de la Transpiración Total de clones de papa ( $\text{g kg}^{-1}$ ). Método Lisimétrico.....	44
Cuadro 8: Promedios de la Tasa de Transpiración de clones de papa ( $\text{mmolH}_2\text{O (mol air)}^{-1}$ ) <sup>1</sup> . Método con el LI-COR.....	46
Cuadro 9: Promedios de la Fotosíntesis Neta de plantas de clones de papa ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) Método con el LI-COR.....	48
Cuadro 10: Promedios de la altura de planta de clones de papa con un día de iniciada la sequía.....	50
Cuadro 11: Promedios de la altura de planta de clones de papa con once días de iniciada la sequía.....	50
Cuadro 12: Promedios de la altura de planta de clones de papa con treinta y seis días de iniciada la sequía.....	51
Cuadro 13: Promedios de biomasa fresca total de clones de papa ( $\text{g pta}^{-1}$ ).....	52
Cuadro 14: Promedios de Biomasa Seca Total de clones de papa ( $\text{g pta}^{-1}$ ).....	53
Cuadro 15: Promedios de Pesos Frescos de tubérculos ( $\text{g pta}^{-1}$ ).....	54
Cuadro 16: Promedios del Área Foliar ( $\text{cm}^2$ ) de clones de papa.....	55

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Reacción a Sequia. Adaptado de Levitt, 1980. Responses of Plants to environmental stresses.....	10
Figura 2. Esquema de Tratamiento de riego en Sequía Regulada, 15 macetas iniciales, posteriormente cinco macetas en precosecha, cinco macetas en riego normal y cinco macetas en sequia regulada.....	26

## INDICE DE GRAFICAS

Gráfico 1: Correlación del Método Totalizador e Instantáneo para medir la Eficiencia de Uso de Agua en 130 plantas de clones de papa.....	43
Gráfico 2: Transpiración Total de clones de papa tomados con el método lisimétrico..	44
Gráfico 3: Tasa de Transpiración de clones de papa tomados con el LI-COR 6400XT	46
Gráfico 4: Fotosíntesis Neta de plantas de clones de papa medido con el LI-COR6400XT .....	48
Gráfico 5: Alturas de las plantas de los clones de papa.....	51
Gráfico 6: Rendimiento de plantas de papa de los clones ( $\text{g pta}^{-1}$ ) .....	54
Gráfico 7: Área Foliar de los clones de papa $\text{cm}^2$ ).....	56

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de Coeficientes de Correlaciones ( $r^2$ ) de variables fisiológicas y morfológicas de 130 plantas de clones de papa.....	57
Tabla 2: Matriz de significancias estadísticas (Pvalue) de los Coeficientes de Correlaciones de variables fisiológicas y morfológicas de 130 plantas de clones de papa .....	57

## RESUMEN

La escasez de agua que se cierne sobre el sector agrícola peruano es cada vez más crítica. Actualmente, existe la necesidad de priorizar su manejo y el de investigar sobre la Eficiencia de Uso de Agua en la planta. La papa es considerada sensible a la falta de agua, y en nuestro país gran parte de este cultivo básico se produce en secano y una menor parte bajo riego por gravedad. Es por ello la importancia de liberar variedades que rindan igual o que tengan un buen rendimiento, pero con menos cantidad de agua recibida. La metodología tradicional usando sistemas lisimétricos para evaluar la eficiencia de uso de agua en papa puede resultar muy demandante de tiempo. Por ello, es que viene siendo reemplazada por una metodología moderna empleando equipos de intercambio gaseoso (IRGA) como es el LI-COR 6400XT. Precisamente, esta investigación busca estudiar la correlación entre ambos métodos.

El método Instantáneo mide de manera inmediata la transpiración y fotosíntesis de la hoja a nivel celular. Mientras que el otro método, mide de manera integrada o totalizadora la transpiración a nivel de toda la planta. Mediante el sistema lisimétrico se calculó el pesado diario de macetas obteniéndose la transpiración diaria de toda la planta.

Los resultados mostraron evidencias estadísticamente significativas que las eficiencias de uso de agua evaluada con ambos métodos se encuentran asociadas con un  $r^2$  de 0.4. Sin embargo, para que el método instantáneo sea representativo de toda la planta, la cantidad de muestras y evaluaciones deben ser altas. Ya que, al tratarse de un método totalizador, como lo es el lisimétrico, considera toda la transpiración de la planta durante todo su ciclo de vida hasta la cosecha. Además, para el caso de la papa, se sabe que en sus diferentes períodos fenológicos, cambia su actividad metabólica y distribución de los fotosintatos afectando el rendimiento y probablemente las evaluaciones de transpiración.

**Palabras clave:** eficiencia de uso de agua, papa, sistema lisimétrico.



## ABSTRACT

Water scarcity looming over the Peruvian agricultural sector is increasingly critical. Currently, there is a need to prioritize its management and to investigate the Efficiency of Water Use in the plant. Potatoes are considered sensitive to lack of water, and in our country a large part of this basic crop is produced in dry land and a smaller part under gravity irrigation. That is why the importance of releasing varieties that yield the same or have a good yield, but with less water received. The traditional methodology using lysimetric systems to evaluate the efficiency of water use in potatoes can be very time consuming. Therefore, it is being replaced by a modern methodology using gas exchange equipment (IRGA) such as the LI-COR 6400XT. Precisely, this research seeks to study the correlation between both methods.

The Instant method immediately measures the perspiration and photosynthesis of the leaf at the cellular level. While the other method, measures in an integrated or totalizing way the perspiration at the level of the whole plant. The heavy daily potting was calculated using the lysimetric system, obtaining the daily perspiration of the entire plant.

The results showed statistically significant evidence that the water use efficiencies evaluated with both methods are associated with an  $r^2$  of 0.4. However, for the instant method to be representative of the entire plant, the number of samples and evaluations must be high. Since, since it is a totalizing method, such as the lysimetric method, it considers all the perspiration of the plant throughout its life cycle until the harvest. In addition, in the case of the potato, it is known that in its different phenological periods, its metabolic activity and photosynthetic distribution changes, affecting performance and probably perspiration evaluations.

**Keys words:** Efficiency of Water Use, potato, lysimetric system.

## I. INTRODUCCIÓN

En gran parte de la zona alto andina del Perú la producción de papa se realiza bajo tecnología tradicional a intermedia y bajo secano; la irregularidad en la cantidad y distribución de lluvia genera riesgos en la producción. La irregularidad pluvial podría estar influenciada por el cambio climático. Es por ello, que se realizan investigaciones mediante simulaciones de modelamiento de cultivos para evaluar como el cambio climático podría alterar sus rendimientos. Las predicciones muestran resultados poco favorables para el cultivo de papa. Ya que, al ser tan dependiente del agua, se vería perjudicado por los efectos negativos del cambio climático. Siendo el cultivo de la papa uno de los más importantes a nivel mundial, y siendo el Perú su centro de origen y poseedor de la mayor fuente de diversidad genética, los efectos negativos del cambio climático podrían ser mitigados mediante el uso de genotipos o variedades que muestren mecanismos de tolerancia al estrés hídrico.

“La eficiencia de uso del agua” en los cultivos es uno de los mecanismos de tolerancia a la sequía y es uno de los factores más importantes en la agricultura moderna. La cuantificación de dicha eficiencia en campo es complicada y requiere de equipamiento y condiciones de suelos que no son posibles controlar bajo diferentes ambientes abiertos.

Los trabajos realizados han demostrado que la producción de los cultivos, la fotosíntesis y el uso de agua para la transpiración, se encuentran íntimamente ligados. Debido a ello, los parámetros más relevantes en la medición de la eficiencia de uso de agua son la transpiración y fotosíntesis.

Por lo expuesto, los objetivos del presente trabajo fueron:

(i) Cuantificar el grado de asociación o semejanza entre los valores de la eficiencia de uso de agua determinado con el método totalizador o lisimétrico en macetas y el método instantáneo, usando un equipo medidor de fotosíntesis, en trece clones de papa procedentes del Centro Internacional de la Papa; (ii) Identificar los clones más eficientes en el uso de agua y sus características relacionadas con la respuesta a una sequía controlada.

## **II. REVISION DE LITERATURA**

### **2.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE LA PAPA**

La papa es uno de los cultivos más importantes en el Perú, no solo por ser uno de los centros de origen y poseer más de 4 mil variedades nativas (MINAGRI, 2003), sino porque aporta en promedio más del 10% del PBI agrícola en los últimos 10 años. Es el segundo (después del Arroz) en área sembrada con 321 mil hectáreas, en la campaña 2018-2019, el consumo paso de 80 Kg/per cápita en el año 2008 a 89 Kg/per cápita en el año 2017, y de este cultivo dependen más de 730 mil familias y genera más de 34 millones jornales, de acuerdo con el Plan Nacional de Cultivos 2018-2019 (MINAGRI, 2019).

### **2.2. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE PAPA**

Egúsquiza & Catalán (2011) presentan recomendaciones sobre el manejo integrado del cultivo de papa entre las cuales se indica que la elección de la variedad es importante porque debe ser adaptada a las condiciones de la localidad de siembra. Para elegir la variedad adecuada debe tomarse en cuenta las características o condiciones tales como: mercado, disponibilidad de semilla, periodo vegetativo, experiencia local, reacción a plagas y enfermedades y rango de adaptación. Mencionan, también, que las variedades más comerciales en el Perú son: Yungay, Canchan, Única, Perricholi, Capiro, Peruanita, Huayro, Amarilla, Tumbay y Huamantanga o Iscuphuru.

En general, el cultivo de papa necesita temperaturas bajas (clima frío) para una buena producción. Es deseable que en los dos primeros meses después de la siembra, la temperatura sea templada para favorecer el rápido crecimiento de la planta. En la preparación del suelo; la aradura, el mullimiento (desterronado) y el surcado deben realizarse en suelo con humedad apropiada. El suelo para la papa, debe mejorarse con aradura profunda y ser muy suelto para favorecer el crecimiento de las raíces.

Para regenerar una planta sana y productiva, la semilla debe ser de calidad. La sanidad es el componente más importante de la calidad. Los distanciamientos de siembra entre surcos y entre semillas varían según las condiciones. Pero, mayormente, los surcos se trazan a 100 cm (un metro) y las semillas se distancian a 30 cm.

Una buena producción de papa requiere el uso combinado de abonos y fertilizantes NPK cuyas dosis varían dentro de los siguientes rangos: Nitrógeno (180 – 200 kg / ha), Fósforo (140 – 200 kg / ha) y Potasio (120 – 160 kg / ha).

El aporque eleva la altura de los camellones, profundiza el surco de riego y aísla las raíces, estolones y tubérculos de las plagas que proceden del exterior. Se realiza cuando las plantas alcanzan entre 25 y 30 cm de altura. La planta de papa es muy sensible tanto a la falta (déficit) como al exceso de agua. Su requerimiento hídrico varía de 400 a 600 litros de agua para producir 1 kilogramo de materia seca de tubérculos (Beukema & Van der Zaag, citados por Yactayo 2011). En el sistema de producción en secano, los cultivos de papa de mejor rendimiento son aquellos que reciben por lo menos 600 mm de precipitación (lluvia).

La cosecha se realiza cuando la planta está madura, cuando no muestra hojas verdes y, sobre todo cuando los tubérculos están maduros (piel firmemente adherida a la pulpa).

## **2.3. ESTADO HÍDRICO DEL SUELO Y PLANTA**

### **2.3.1. EL AGUA EN EL SUELO**

Según Ekanayaque (1994) la disponibilidad de agua en el suelo para el crecimiento de la planta depende: del contenido de humedad del suelo, de las características de retención de humedad del suelo, de la conductividad hidráulica del suelo y de la zona de profundidad de enraizamiento. La tasa de absorción de agua por las raíces depende de la magnitud de la diferencia del potencial de agua entre la raíz y el suelo, de las resistencias entre la raíz y el suelo, del número de raíces y de la actividad radicular. De igual forma, Beukema & Van del Zaag (1990) indican que el contenido de agua y su tasa de movimiento en el suelo, dependen en gran manera del tipo de suelo y de su estructura, razón por la cual existe una correlación entre la tensión de humedad del suelo y la tensión de agua en las hojas.

La elongación celular y la tasa de transpiración del cultivo empiezan a reducirse bajo potenciales foliares de -0.3Mpa. Este valor y aún menor se produce en cultivos de

papa bien irrigados durante el día, por lo que la elongación foliar puede ser evaluada durante la noche (Beukema & Van del Zaag, 1990).

Taiz & Zeiger (2006) indican que la presión negativa del agua en el suelo afecta al potencial hídrico (o potencial mátrico) que puede descomponerse en potencial osmótico y presión hidrostática. El potencial osmótico del agua del suelo es, generalmente, despreciable porque las concentraciones de solutos suelen ser bajas (-0.02Mpa). Sin embargo, en suelos con elevadas concentraciones de sales el potencial osmótico del suelo es significativo (-0.2Mpa). El potencial de presión hidrostática para suelos húmedos es próximo a cero mientras que en suelos secos disminuye tornándose negativo.

### **2.3.2. EL AGUA EN LA PLANTA**

El agua en las plantas es un constituyente importante del protoplasma; es un reactivo esencial en la asimilación del CO<sub>2</sub>, es un agente de transporte de sales y medio de difusión de gases; siendo, también, importante para mantener la turgencia necesaria para el crecimiento, división celular y otros procesos metabólicos (Kramer, 1969).

El agua se mueve desde el suelo a través de la planta hacia la atmósfera, y con diferentes medios (pared celular, citoplasma, membranas, espacios aéreos). Este mecanismo de transporte varía según el tipo de medio. Anteriormente, no estaba claro si el movimiento del agua en las células vegetales estaba limitado a la difusión de sus moléculas de agua a través de la bicapa lipídica de la membrana plasmática, o si, también implicaba la difusión a través de poros delimitados por proteínas. Se consideran que los dos principales procesos en el transporte del agua son: la difusión molecular y el flujo de masas (Taiz & Zeiger, 2006).

La difusión es el movimiento de las moléculas debido a un proceso de agitación térmica al azar. Aquí las moléculas de agua en una solución no están quietas, están en continuo movimiento, chocando unas con otras intercambiando energía cinética. Es rápida en distancias cortas, pero extremadamente lenta en distancias largas. En dicho caso, el transporte de agua a larga distancia se produce por un flujo de masas impulsado

por presión. Dicho flujo es el movimiento concertado de grupos de moléculas en masa, y generalmente en respuesta a un gradiente de presión (Taiz & Zeiger, 2006).

Según Taiz & Zeiger (2006) la osmosis es impulsada por un gradiente de potencial hídrico. Del mismo modo, que la difusión y el flujo de masas son impulsados por presión, la osmosis se produce espontáneamente en respuesta a fuerzas impulsoras. Además, Taiz & Zeiger, citando a Finkelstein (1987) agregan que en la difusión simple, las sustancias se mueven a favor del gradiente de presión; y en la osmosis, los dos tipos de gradientes afectan al transporte. Es decir, la dirección y el flujo hidráulico a través de una membrana no están determinados únicamente por el gradiente de concentración o por el gradiente de presión, sino por la suma de los dos tipos de fuerzas impulsoras.

Según Lira (1994), el agua se mueve por la planta penetrando principalmente por raíces y saliendo por las hojas, en respuesta a un gradiente de potencial, el cual debe disminuir continuamente desde el suelo hacia la atmósfera. La planta actúa como eslabón en el sistema hídrico al permitir el flujo del agua desde el suelo a la atmósfera. Parte de este movimiento se realiza mediante difusión, usualmente por osmosis, y la mayor parte mediante flujo de masas.

En síntesis, el agua en la planta se mueve a través del xilema, a lo largo de un gradiente de potencial determinado por la demanda de la transpiración. A su vez, la transpiración de agua depende del déficit de saturación en el aire y de la disponibilidad de agua en el suelo. La acción estomatal es el principal mecanismo mediante el cual la planta controla la tasa de transpiración (Ekanayaque, 1994).

### **2.3.3. ESTRÉS HÍDRICO**

Las plantas han evolucionado en mecanismos complejos de regulación y control, que las capacitan para mantener un alto grado de homeostasis cuando se alteran las condiciones externas o cuando cambian las demandas de las plantas; pero si los cambios exceden a la capacidad compensatoria de los mecanismos homeostáticos e impiden el crecimiento y rendimiento potencial genético de las plantas, el factor limitante constituye un "Estrés" (Mussell & Staples, 1979).

Levitt (1980) define como “estrés” a cualquier fuerza que se aplica a un objeto, y como “deformación” al cambio de dimensiones que experimenta el objeto como respuesta al estrés. Sugirió, también, que el estrés biológico es cualquier cambio en las condiciones ambientales que pudiera reducir o modificar perjudicialmente el crecimiento y desarrollo de una planta. En cambio, la deformación biológica es la función reducida o modificada.

González (1999) define el estrés hídrico como la respuesta a la falta o el exceso de agua en las plantas. Fisher & Turner (1978) sostienen que la carencia de agua ha sido la principal fuerza selectiva en la evolución de las plantas y que su habilidad para hacer frente a los déficits hídricos es determinante para su productividad. El desarrollo de resistencia a un factor adverso, casi siempre le confiere a la planta algún grado de resistencia a otros factores (Armas *et al.*, 1988).

## 2.4. CONCEPTOS

**a. Sequía:** Kramer (1974), la define como la insuficiencia de agua disponible en el suelo para cubrir las necesidades de un cultivo en un determinado estado de desarrollo. Armas *et al* (1988) sostienen que la sequía es uno de los factores adversos más comunes a las que son sometidas las plantas, por lo cual desarrollaron muchos mecanismos de resistencia. El déficit hídrico en la planta ocasiona reducción en el rendimiento.

**b. Transpiración:** Kramer, citado por Del Castillo (1995), define la transpiración como la pérdida de agua de las plantas en forma de vapor. Por lo tanto, es fundamentalmente un proceso de evaporación modificada por la estructura de la planta y el comportamiento de los estomas.

Dizes citado por Del Castillo (1995), indica que la transpiración se efectúa por dos vías: la primera, por la vaporización del agua a través de la cutícula, fenómeno pasivo muy relacionado a las condiciones externas (10 a 40% de la transpiración total); y la segunda, vía evaporación del agua a través de los estomas, regulable por la planta bajo efecto de factores externos (estado hídrico del suelo, tensión de vapor de agua al nivel de la hoja, contenidos de CO<sub>2</sub> a nivel de los estomas, temperatura y luz) e internos propios

de la planta (superficie foliar, naturaleza y disposición de los tejidos periféricos, densidad y posición de los estomas, movimiento y posición de las hojas).

Lira (1994), comenta que el contenido hídrico de la planta puede afectar la transpiración de dos maneras: indirectamente, afecta la apertura estomática y directamente, afectando el gradiente de concentración de vapor desde las superficies celulares de la hoja al aire.

Algunas plantas están adaptadas a estaciones de años particularmente secos. Estas plantas, llamadas plantas C4 y CAM, emplean variaciones de la ruta fotosintética normal para fijación del CO<sub>2</sub>. Las plantas con fotosíntesis C4 generalmente transpiran menos agua por molécula de CO<sub>2</sub> fijada. En las plantas adaptadas a ambientes desérticos con fotosíntesis CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas), el CO<sub>2</sub> es inicialmente fijado en ácidos orgánicos de cuatro carbonos y durante la noche tienen una tasa de transpiración aún más baja. Es por ello, que el mecanismo CAM permite a las plantas mejorar la eficiencia de uso de agua. Por término medio, una planta CAM pierde de 50 a 100 g de agua por cada gramo de CO<sub>2</sub> ganado, frente a los 250 a 300 g y 400 a 500 g, que pierden las C4 y C3, respectivamente. De esta forma, las plantas CAM presentan una ventaja competitiva en ambientes secos (Taiz & Zeiger, 2006).

En condiciones de Lima-Perú, plantas de papa sembradas en macetas presentaron transpiraciones de 920 g pta<sup>-1</sup> (día caluroso) a 186 g pta<sup>-1</sup> (día frío) registradas por Yactayo (2011). Según el cultivo y la variedad o genotipo, la transpiración puede variar según las etapas en que se encuentren. En el caso de papa, el momento más sensible para el daño por una sequía es la tuberización.

**c. Fotosíntesis:** Para Lira (1994) la fotosíntesis ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), es un proceso de tres fases: absorción de la luz y retención de energía lumínica, conversión de energía lumínica en potencial químico, y por último la estabilización y almacenaje del potencial químico.

La producción de tubérculos está determinada por la fotosíntesis, respiración, partición o distribución de fotosintatos y contenido de materia seca de tubérculos (Ramos, 1994). De la misma manera, Tourmeux (1996), Lira (1994) y Medina (1990) definen a la



fotosíntesis como la función que permite la transformación de la energía lumínica en energía química, presentando varios procesos de óxido-reducción en reacciones en cadena.

La Fotosíntesis Neta (Fotosíntesis Bruta menos Respiración) es el parámetro que se emplea en la medición de la eficiencia de transpiración con el método instantáneo. Se la define como la cantidad de CO<sub>2</sub> fijado por la planta en el proceso de fotosíntesis.

## **2.5. EFECTOS DE LA SEQUÍA SOBRE EL CULTIVO DE PAPA**

El crecimiento y la producción del cultivo de la papa dependen de la interacción entre la planta y el ambiente en el cual se desarrolla. El agua suministrada tiene un efecto muy significativo sobre la producción de materia seca. En investigaciones realizadas por Versteeg *et al* (1982) los máximos valores de materia seca total fueron alcanzados cuando el agua suministrada fue la suficiente. Guerrero (1992) reportó una reducción de un 32.6 por ciento, en su producción de materia seca total bajo efectos de sequía. En lo que respecta al peso fresco y volumen de un tubérculo (rendimiento), Baker y Moorby (1969), indican que los cambios rítmicos en el tubérculo en crecimiento muestran que existe un movimiento considerable de agua hacia el exterior del mismo. Esta sería la respuesta a la transpiración producida en periodos de elevada demanda evaporativa, e invirtiéndose durante periodos de baja demanda evaporativa. La altura de la planta es considerada para medir la evolución de la planta como respuesta frente al estrés hídrico. Martínez (1985) no encontró diferencias entre la altura de plantas con riego normal y las de aquellas sometidas a estrés hídricos, a diferencia de Mamani (1993), que si encontró resultados que mostraron que la altura de planta si se vio afectada por la sequía durante la fase de estolonización, pero no encontró diferencias significativas en altura de la planta durante la tuberización.

Durante la sequía, los estomas de las hojas de papa se abren en el día debido a la luz solar. Pero cuando las plantas son incapaces de satisfacer la demanda evaporativa de la atmosfera, las hojas pierden turgor y se cierran los estomas y se restringe la fotosíntesis. Aumentan la pérdida de agua, el calentamiento del suelo y de las hojas; lo cual no es favorable para el inicio de la tuberización y en consecuencia, influye directamente en el rendimiento (Allen & Scott 1980, Haverkort 1982).

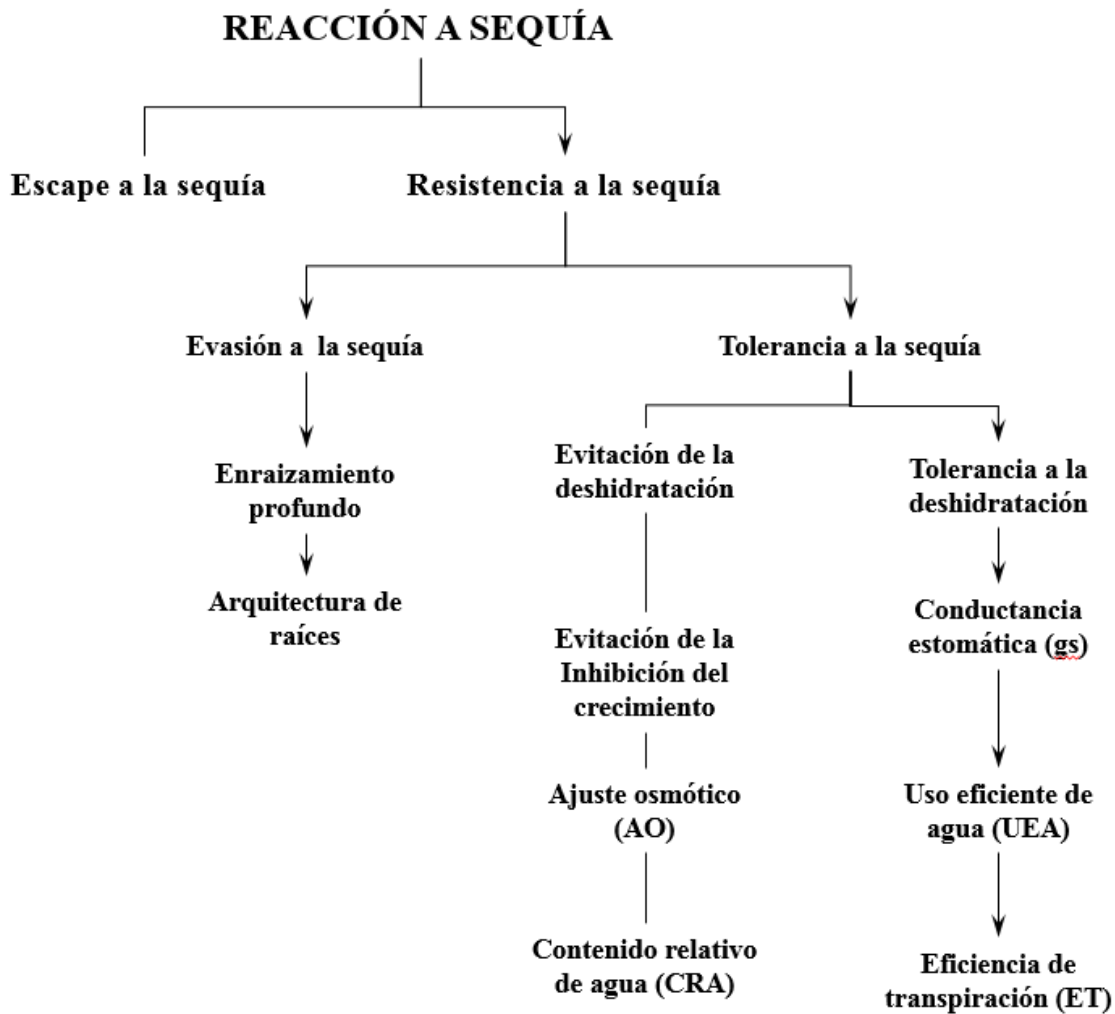
Cuando la sequía es muy acentuada y por ende el potencial hídrico se torna muy negativo, de inmediato se retarda la expansión celular, el crecimiento disminuye, los estomas se cierran y la captación de CO<sub>2</sub> se restringe. Así la fotosíntesis es limitada por el déficit de agua (Salisbury & Ross 2000).

Ekanayaque (1994) citando a Van Loon, afirma que el perjuicio que causa la sequía en la papa se ha descrito como consecuencia de i) reducción del follaje productivo (escasa emergencia, escasa expansión foliar); ii) reducción de la tasa de fotosíntesis por unidad de área foliar; y iii) reducción del periodo vegetativo o senectud precoz. La disminución del rendimiento se debe al escaso número de tubérculos y a la mala distribución de su tamaño. Al reducirse la superficie de la hoja, disminuye la eficiencia de uso de luz, y con ello la materia seca se pierde y se mueren las hojas.

## **2.6. MECANISMOS DE ESTRÉS HÍDRICO POR SEQUÍA**

Las plantas muestran, ante el estrés hídrico, respuestas que tienden a evitarlo o bien mecanismos o adaptaciones que permiten tolerarlo. El estudio de las respuestas de las plantas al estrés, es un aspecto fundamental de la fisiología ambiental o ecofisiología, la cual se propone conocer cómo las plantas funcionan en sus ambientes naturales y cuáles son los patrones que determinan su distribución, supervivencia y crecimiento (Valladares *et al.* 2004 citando a Kramer & Boyer, Lambers *et al.* y Ackerly *et al.*).

Existen períodos o etapas del desarrollo, como el estadio de plántula, donde las especies pueden ser particularmente sensibles (o insensibles) a un estrés determinado. (Valladares *et al.* 2004)



**Figura 1: Reacción a Sequía. Adaptado de Levitt, 1980. Responses of Plants to environmental stresses**

Las adaptaciones de las plantas al estrés causado por la sequía han sido denominadas como "estrategias" por Larcher (1995). Diversos autores han realizado varias clasificaciones definiendo las principales "reacciones a la sequía" que Levitt, citado por Ekanayaque (1994), llama "Mecanismos de Resistencia".

En la Figura 1 se puede apreciar un esquema adaptado de Levitt (1980): La reacción a sequía es por Escape o por Resistencia a la sequía; la resistencia es, a su vez, por Evasión o por Tolerancia. La tolerancia ocurre por Evasión a la deshidratación y por Tolerancia a la deshidratación que se expresa como Eficiencia de Transpiración y/o Eficiencia de Uso de Agua. Entonces se podría asumir que existen tres mecanismos de resistencia a la sequía: Escape, Evasión y Tolerancia. La reacción por Tolerancia a la sequía es el mecanismo central de esta investigación.

Los mecanismos de escape, permiten a la planta completar las etapas de crecimiento sensibles a la sequía durante periodos de humedad adecuada o completar el ciclo vital antes del inicio de la sequía (Ekanayaque, 1994). Tools y Chan (1979) añaden que dichas plantas presentan un ciclo de vida muy corto, se desarrollan durante la época en que hay agua y se encuentran en forma de semilla, en la época seca.

Ehleringer *et al.* (1976), indican que las plantas que evitan el efecto de la sequía desarrollaron un sistema radicular profundo que llega hasta el manto freático. La evasión es la capacidad para soportar la sequía o evitar el estrés, manteniendo un elevado potencial de agua en la planta mediante niveles elevados de absorción, gracias a un sistema radicular más extenso y mejor distribuido, al tiempo que se reduce la pérdida de agua mediante el control estomatal (Ekanayaque, 1994). Según Valladares *et al.* (2004) en la evasión al estrés hídrico, las plantas pueden prevenir o minimizar la penetración del estrés en sus tejidos, ya que estos son muy sensibles a la deshidratación. Las especies que siguen esta estrategia o bien maximizan la absorción de agua (con sistemas radicales profundos) o bien minimizan las pérdidas de agua (con el cierre de estomas rápidamente y sensibles a ligeros descensos del contenido hídrico de los tejidos o al potencial hídrico, valores en general bajos de conductancia estomática, paredes celulares poco elásticas que inducen cambios rápidos de potencial hídrico en respuesta a pequeñas pérdidas de agua). Tal y como lo indica la Figura 1 se tendría dos mecanismos de evasión: uno que resiste la sequía mediante cambios en la arquitectura de sus raíces y el otro que evita deshidratarse mediante sus estomas; ambos mecanismos mantienen a las plantas dentro del estado de turgencia, con potenciales hídricos relativamente altos (Valladares *et al.* 2004).

La tolerancia es la sobrevivencia y funcionamiento adecuado de la planta, aun bajo condiciones internas y externas de extremo estrés. Esta forma de resistencia implica el desarrollo de mecanismos fisiológicos especiales que permiten que la planta sobreviva bajo estas condiciones. Desde un punto de vista agronómico, la tolerancia se entiende en términos de rendimientos (magnitud y estabilidad) de un cultivo en condiciones de estrés hídrico (Passioura, 1997).

Una planta puede presentar más de un mecanismo a la vez. Un ejemplo de ello es argumentado por Jacobsen y Mujica (1997), quienes afirman que el cultivo de la quinua presenta tres mecanismos de resistencia a la sequía: escape, evasión y tolerancia. La quinua escapa a la sequía principalmente por precocidad. Evita el estrés por sus raíces profundas. Adicionalmente, tolera la sequía por (a) la disminución de su potencial osmótico, (b) ajuste osmótico y (c) reducción de la conductancia estomatal.

En síntesis, la resistencia a la sequía consiste en una combinación de varios rasgos morfológicos, fisiológicos y del desarrollo en una planta, que le permiten equilibrar la transpiración y continuar con la formación de fotosintatos, evitando así los déficits internos de agua a través de crecimiento continuo y un uso reducido de agua, a esto se le conoce como Eficiencia de Transpiración y/o Eficiencia de Uso de Agua (Loomis & Connor, 2002). Son precisamente, dichos rasgos los que son usados como criterios en el mejoramiento genético de plantas para la selección de cultivares tolerantes y/o resistentes a efectos adversos de la sequía.

## **2.7. PARÁMETROS DE MONITOREO Y EVALUACION DEL ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA BAJO ESTRÉS**

Según Ekanayaque (1994) el estrés por deficiencia de agua en la planta se puede medir con varios parámetros y métodos usando muestras representativas de hojas. A continuación, la descripción de los más importantes:

**a. Contenido Relativo de Agua (CRA):** El contenido de agua en la hoja de una planta representa indirectamente el estado de turgencia de la misma y es una relación entre el contenido de agua en su estado actual y en estado de turgencia. Existe una correlación alta entre el contenido relativo de agua de la planta con el potencial de agua del suelo (Werner, 1954). El CRA en las hojas está condicionado por la humedad relativa (HR); cuando decrece la HR, el vapor de agua sale de las hojas (Guerrero, 1992).

Las plantas con riego pueden perder la turgencia en el día, pero esta es recuperada en las noches, sin embargo en las plantas con estrés hídrico la recuperación de la turgencia no se produce completamente (Cornejo & Vadia, 1966).

**b. Potencial hídrico de la hoja:** Lira (1994) señala que el estado hídrico de las plantas se caracteriza por una combinación de su habilidad fisiológica y bioquímica para realizar sus funciones vitales, transportar el agua y los nutrientes requeridos para su adecuado crecimiento. Es por ello que Taiz & Zeiger (2006) afirman que el potencial hídrico es útil para evaluar o determinar el estado hídrico de la planta. El estrés hídrico de la planta puede describirse en términos de energía libre específica total del agua en la planta o potencial hídrico, en unidades de presión (Ekanayaque, 1994). El potencial hídrico de la planta y sus componentes influyen en el crecimiento celular, la fotosíntesis y la productividad de los cultivos. El potencial hídrico es un buen indicador de la salud de la planta (Taiz & Zeiger, 2006).

Las plantas transportan agua debido a un diferencial de potencial hídrico que se produce desde el suelo, en la zona radicular, hasta las hojas donde el potencial es más negativo. Para que exista absorción de agua es necesario que el potencial total del suelo sea mayor al potencial total del agua de las células (Milthorpe & Moorby, 1982).

Según Beadle *et al.* (1988), el potencial hídrico ( $\Psi_{\text{hídrico}}$ ) de una planta u hoja tiene dos componentes principales: el potencial osmótico ( $\Psi_{\text{osmótico}}$ ) que se origina por la presencia de solutos disueltos en la célula, y el potencial de turgencia ( $\Psi_{\text{turgencia}}$ ), que resulta de la presión ejercida sobre las células por sus paredes. Cada una de estas se expresa en unidades de presión MPa o bares. Por otro lado, Milthorpe & Moorby (1982) señalan que el potencial hídrico ( $\Psi_{\text{hídrico}}$ ), consta de tres componentes: potencial de turgencia ( $\Psi_{\text{turgencia}}$ ), potencial osmótico ( $\Psi_{\text{osmótico}}$ ) y el potencial mátrico ( $\Psi_{\text{mátrico}}$ ).

$$\Psi_{\text{Hídrico}} = \Psi_{\text{Turgencia}} + \Psi_{\text{Osmótico}} + \Psi_{\text{Mátrico}}$$

Taiz & Zeiger (2006) indican que el potencial hídrico de la planta consta de los tres siguientes componentes:

$$\Psi_h = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g$$

Donde los términos  $\Psi_s + \Psi_p + \Psi_g$  representan los efectos de los solutos, la presión hidrostática y la gravedad sobre la energía libre del agua. El término “ $\Psi_s$ ” llamado potencial de soluto o potencial osmótico representa el efecto de los solutos disueltos sobre el potencial hídrico. Los solutos disminuyen la energía libre del agua por dilución de la misma. Se trata de un efecto de entropía. Es decir, la mezcla de solutos y agua aumentan el desorden del sistema y disminuye su energía libre. Esto significa que el potencial osmótico es independiente de la naturaleza específica del soluto. El término “ $\Psi_p$ ” indica la presión hidrostática positiva en las células vegetales, es lo que se conoce como presión de turgencia. Por último, el término “ $\Psi_g$ ” indica la gravedad, la cual es responsable de movimiento del agua hacia abajo. Cuando se trata de suelos secos, de semillas y de paredes celulares, es frecuente que se introduzca otro factor, el denominado potencial mátrico (Taiz & Zeiger 2006).

Wiebe (1966) y Boyer (1967) hallaron en diferentes plantas herbáceas que el potencial mátrico es un valor despreciable. Por tal razón, Ledent (2002) solo considera el potencial de turgencia y osmótico para los tejidos de hojas:

$$\Psi_{Hídrico} = \Psi_{Turgencia} + \Psi_{Osmótico}$$

El potencial osmótico ( $\Psi_{osmótico}$ ), es la presión hidrostática producida por una diferencia entre la concentración de solutos. Esta acumulación de solutos se realiza principalmente en las vacuolas, evitando el contacto con el citosol, lo cual estaría protegiéndolo de elevadas concentraciones de iones que inhiben las funciones enzimáticas. En tal sentido, Ledent (2002) afirma que el ajuste osmótico se produce lentamente y tiende a incrementar la tolerancia a la deshidratación.

El contenido de solutos de una muestra de hoja se mide en unidades de presión. Salisbury & Ross (2000) afirman que el potencial osmótico puede ser medido de manera directa en una solución, siendo el método de presión de vapor el más adecuado para líquidos. La disminución del potencial osmótico por una activa acumulación de solutos en la célula como respuesta al estrés hídrico, es observada en varias especies de plantas y se denomina ajuste osmótico (Tunner, 1979).

Ekanayaque (1994) citando a Scholander *et al.* (1965) afirma que el potencial hídrico se puede determinar empleando el método de cámara de presión. Este método es rápido, confiable y de nula sensibilidad a la temperatura en el campo.

**c. Contenido de Clorofila (SPAD):** Es el contenido relativo de pigmentos fotosintéticos medido con un equipo de desarrollo analítico para suelos y plantas (soil plant analytical development, “SPAD”). La clorofila es esencial para el desarrollo de la planta, ya que es la responsable de la captura de la energía solar incidente necesaria para la fotosíntesis. La cuantificación de este pigmento fotosintético puede ser usada para estimar con una mayor precisión el estado fisiológico (detectando estreses) de los cultivos y también para la estimación de su productividad (medición e interpretación de radiación fotosintéticamente activa absorbida) (Ferri *et al.*, 2004).

**d. Eficiencia de Transpiración (ET) y Eficiencia de uso de agua en el cultivo de la papa (EUA):** Tanner & Sinclair (1983) definen a la eficiencia de transpiración (TE) como la biomasa producida (g) por unidad de agua transpirada (kg); Kissel *et al.* (2015) definen a la TE como unidades de materia seca acumuladas por unidad de agua transpirada, es decir, cuán eficiente es la planta para utilizar el agua. La TE puede ser un parámetro adecuado para detectar rápidamente la tolerancia a la sequía (Kissel *et al.*, 2015 citando a Condon *et al.*, 2004 y Wallace, 2000). Debe observarse, sin embargo, que un cultivar con un alto TE durante la sequía es principalmente visto como una estrategia de supervivencia y comúnmente está inversamente relacionada con la productividad o rendimiento de la planta (Kissel *et al.*, 2015 citando Jones ,2013).

Ekanayake (1994) define a la EUA como la cantidad de materia seca total o materia seca económica producida por unidad de agua aplicada, por unidad de agua transpirada, o por unidad de evapotranspiración. Silva & Acevedo (1995) definen la EUA como la cantidad de carbono fijado expresado como CO<sub>2</sub> asimilado, biomasa total o rendimiento del producto comercial con relación al agua consumida por evapotranspiración.



Tanner (1981), encontró que la EUA en papa puede variar mucho más que la TE debido a las proporciones relativas entre la evaporación y transpiración, las cuales dependen del índice de área foliar (IAF), las propiedades del suelo y de la frecuencia de riego. Por ello, la EUA también puede ser referida como rendimiento en base a transpiración. Siguiendo esta idea Ray & Sinclair (1998) usaron bolsas de polietileno para cubrir el suelo o sustrato de macetas con variedades de papa para evitar la pérdida de agua por evaporación del suelo haciendo que esta regrese al mismo sistema lisimétrico.

Tanner (1981) y Tanner & Sinclair (1983), afirman que la Eficiencia de Uso de Agua (EUA) es más alta en regiones húmedas con un bajo déficit de saturación del aire, a diferencia de regiones áridas donde el déficit de saturación del aire es más alto. El rendimiento de papa puede ser mayor a pesar de una baja EUA si hubiera mayor irradiación en la etapa de crecimiento de la planta.

Doorenbos & Kansson (1979) calcularon que la eficiencia de uso de agua de la papa ( $\text{Kg m}^{-3}$  de tubérculos frescos) fue de 4 a 7  $\text{Kg m}^{-3}$ . Por otro lado, Génova (1986) elevó el nivel de humedad durante la tuberización y encontró una eficiencia de uso de agua de 5.3  $\text{Kg m}^{-3}$ .

## **2.8. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DE USO DE AGUA (EUA)**

La EUA en las plantas puede ser medida a partir de diversos métodos, sin embargo los más conocidos son los métodos: lisimétricos o Totalizadores y los de difusión de gases o Instantáneos.

**a. Método Instantáneo:** La medida de la eficiencia del uso de agua a escala foliar, es representada por la eficiencia de transpiración y tiene un enorme valor experimental (Medrano *et al.*, 2007). Uno de los principales motivos para su toma en consideración, es la posibilidad de representar un parámetro de medida relativamente sencillo y que pueda ser representativo de la EUA a escala de planta entera. La eficiencia de la transpiración depende de la planta y de las condiciones ambientales, de forma que un mismo grado de apertura estomática puede traducirse en una tasa de transpiración muy diferente si la humedad ambiental varía, debido a que el cierre y la apertura de los estomas regulan la

cantidad de CO<sub>2</sub> disponible en el lugar donde se encuentra la Rubisco, y por lo tanto, limita la fotosíntesis como consecuencia de las distintas condiciones de estrés. (Lopes *et al.*, 2013).

El estoma controla el suministro de CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis, y al mismo tiempo, controla también la pérdida de agua durante la transpiración (Jones 1998; revisado en Lopes *et al.*, 2013). Esto conduce al concepto de la eficiencia de la transpiración, el cual es definido como el cociente entre la asimilación neta del CO<sub>2</sub> y la tasa de transpiración, la cual es una función de ambos, los atributos ambientales y los atributos de la propia planta, relacionados con la resistencia a la fijación de CO<sub>2</sub> por las hojas (Subbarao & Johansen, 2002 revisado en Lopes *et al.*, 2013).

Lopes *et al.*, (2013) describen los dos sistemas principales con los que se puede medir la capacidad fotosintética de las hojas: i) sistemas de intercambio gaseoso, que miden directamente los flujos de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, y ii) del fluorómetro, el cual estima la fotosíntesis por medio de mediciones de la fluorescencia de la clorofila. La fotosíntesis definida como el intercambio neto de CO<sub>2</sub> entre la hoja y el aire, puede medirse directamente con un IRGA (acrónimo del inglés Infra-Red Gas Analyzer), al mismo tiempo, se mide también el intercambio de H<sub>2</sub>O, que da información sobre las tasas de transpiración y conductancia estomática.

En las plantas C<sub>3</sub> como la papa, durante las mediciones de intercambio gaseoso, sólo podían medirse valores de fotosíntesis neta, la cual corresponde a la tasa de carboxilación menos la liberación de CO<sub>2</sub> de la fotorrespiración y de la respiración mitocondrial. Por lo tanto, medidas simples de intercambio de CO<sub>2</sub> tomadas con un analizador de gases por infra-rojo (IRGA) dan valores de fotosíntesis neta de la hoja (AN), y esto incluye la diferencia entre la cantidad bruta de fotosíntesis de la hoja (AG), en la que se consume CO<sub>2</sub>, menos las tasas de fotorrespiración (PR) y respiración mitocondrial (Rd), en la que se libera CO<sub>2</sub>, como se muestra en la siguiente ecuación (Lopes *et al.*, 2013)

$$\mathbf{AN = AG - PR - Rd}$$

Para utilizar la fotosíntesis de la hoja como herramienta de selección de germoplasma, hay que considerar que la fotorrespiración y la respiración mitocondrial

son procesos difíciles de medir. Sin embargo, debe mantenerse en mente que la fotorrespiración y la respiración mitocondrial no pueden separarse de las medidas de la tasa fotosintética de la hoja. Esto es particularmente importante en condiciones de alta temperatura, en las cuales la fotorrespiración y la respiración mitocondrial incrementan sustancialmente (Leegood, 2007; Bunce, 2007 citados en Lopes *et al.*, 2013), pudiendo afectar las mediciones finales de la fotosíntesis.

El método de difusión de gases es considerado instantáneo, pues solo cuantifica en un momento determinado del día (desde unos pocos segundos hasta unas horas) y a nivel celular en una parte del área foliar, para diferentes momentos del período fenológico de la planta.

**b. Método Gravimétrico o Lisimétrico:** La eficiencia en el uso del agua, a nivel de planta, es un parámetro con un valor principalmente experimental, pues habitualmente se obtiene en condiciones controladas donde las plantas se encuentran en macetas o en sistemas llamados lisimétricos, en los que el agua consumida puede medirse con exactitud. Por este motivo, este parámetro constituye en sí la eficiencia en el uso del agua real, pues sus dos componentes, agua consumida y biomasa producida (incluida la biomasa radicular), pueden ser determinadas con exactitud. Sin embargo, presenta dos inconvenientes: en primer lugar se trata de una medida realizada en condiciones experimentales, por lo que su extrapolación a condiciones reales de campo debe ser llevada a cabo con cautela; en segundo lugar, su medida es muy sencilla pero muy laboriosa debido a que el consumo de agua se realiza por diferencia de peso y la producción de biomasa radicular implica la separación de las raíces del suelo, lo que no siempre es sencillo. A pesar de estos dos inconvenientes, la eficiencia en el uso del agua a nivel de planta entera es un parámetro muy útil en la comparación de especies y variedades. (Medrano *et al.*, 2007)

En el caso de los métodos lisimétricos, estos consisten en un sistema cerrado que proporciona agua al suelo de manera constante hasta un nivel freático establecido o una humedad controlada. La transpiración es medida diariamente por el ingreso de agua al sistema o por la diferencia de pesos (en balanzas) que puedan expresar los contenedores donde crecen las plantas, la biomasa puede ser medida en cosechas sucesivas o al final del ciclo fenológico de la planta.

En estudios realizados por Scott Johnson *et al.* (2005) en cultivos perennes, afirman que la forma más precisa de estimar el consumo de agua por los cultivos, es usando el lisímetro de pesada o método del lisímetro. Dichos autores definen este método como simplemente una gran "maceta" que descansa sobre una balanza subterránea sensible. La pérdida de peso a corto plazo del sistema se debe al agua transpirada por las hojas o evaporada por la superficie del suelo, casi en su totalidad.

Tanner (1981) encontró que la EUA en papa (medida con este método) tiende a presentar variaciones. Estas podrían ser causadas por cambios en la evapotranspiración de la unidad lisimétrica (en este caso en cada maceta). Ray & Sinclair (1998) analizaron el efecto del tamaño de la maceta y si este influía en el total de agua transpirada por la planta, finalmente concluyeron que presentaban cambios significativos. Sin embargo, cuando éstos eran analizados a partir de una normalización de dichos datos de transpiración, estos no variaban. De tal modo, que el tamaño de maceta no era considerado como un factor que interviniera o afectara los resultados en los análisis de eficiencia de transpiración finales.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. UBICACIÓN Y CONDICIONES AMBIENTALES DEL EXPERIMENTO**

El experimento fue conducido en el área experimental del Centro Internacional de la Papa - La Molina (Lima, Perú), ubicado a 12° 04' 33.92" Latitud Sur, Longitud de 76° 56' 45.68" Oeste y con una Altitud de 244 msnm. La instalación del experimento se llevó a cabo a mediados de julio del 2012 y su finalización se realizó a principios de octubre del 2012. Por lo general las condiciones climáticas de La Molina (Lima-Perú) se caracterizan por una precipitación anual casi nula de 0.6 mm, una elevada Humedad Relativa de 78%, que osciló entre 69 y 100% y con temperatura máxima de 24.3°C y mínima de 12.1°C proporcionando al experimento las condiciones que se podrían considerar apropiadas para la tuberización. De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1960), la zona experimental es clasificada como desértico árido subtropical costanero. Los datos de temperatura y Humedad Relativa fueron obtenidos utilizando un sensor “*HOBO*” modelo U23-001.

#### **3.1.2. ANÁLISIS DEL SUELO Y AGUA**

El sustrato utilizado fue SOGEMIX SM (Musgo de turba, perlita, vermiculita y piedra caliza) mezclada con tierra de chacra. Los resultados del análisis químico del sustrato se presentan en el Cuadro 1.

El agua para el riego de este experimento fue proveniente del río Rímac. El análisis se realizó en el laboratorio de análisis de suelos y plantas de la UNALM (Cuadro 2). La clasificación en base a la conductividad eléctrica y relación de absorción de sodio indica que el agua empleada pertenece a la clase C2-S1, es decir que el peligro de salinidad es medio y el peligro de sodio es bajo. Esta clase de agua puede generar estrés por sales únicamente en plantas sensibles, podría usarse para el riego de casi todos los suelos sin peligro de destrucción de la estructura, pero se recomienda moderada lixiviación para evitar la acumulación de sales. Por los niveles de carbonato de sodio residual puede decirse que no existe ningún peligro de sodio, el calcio y el magnesio no participan como

carbonatos y se mantienen activos para prevenir la acumulación de sodio en los sitios de cambio de la CIC.

**Cuadro 1: Análisis químico del sustrato experimental**

	Unidades	Valor
pH	(1:1)	5.56
C.E.	(1:1) dS/m	5.15
CaCO <sub>3</sub>	%	0.00
M.O.	%	59.86
P	Ppm	114.5
K	Ppm	1060
CIC		32
Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>	meq/100g	0.75
Suma de cationes		32
Suma de bases		32
% Sat. de bases	%	100

**Cuadro 2: Análisis de agua de riego aplicada**

	Unidades	Valor
pH	(1:1)	6.42
C.E.	(1:1) dS/m	0.48
Calcio	meq/100g	3.82
Magnesio	meq/100g	0.56
Potasio	meq/100g	0.18
Sodio	meq/100g	0.64
<b>SUMA DE CATIONES</b>		5.20
Nitratos	meq/100g	0.02
Carbonatos	meq/100g	0.00
Bicarbonatos	meq/100g	2.21
Sulfatos	meq/100g	1.36
Cloruros	meq/100g	1.50
<b>SUMA DE ANIONES</b>		5.09
Sodio	%	12.31
RAS		0.43
Boro	ppm	0.13
Clasificación		C2-S1

### **3.2. MATERIALES Y EQUIPOS DE COLECTA DE DATOS**

- Equipo medidor de fotosíntesis LI-6400XT, LI-COR
- Balanza electrónica 15 kg, marca JADEVER (+/- 0.005 kg)
- Micro voltímetro HR-33T y 04 cámara psicrométrica C-52
- Clorofilómetro (SPAD)
- Scanner marca OneTouch, modelo 9520
- Laptop DELL Satellite
- Probetas de plástico de 25 ml, 250 ml y 500 ml
- Macetas de plástico de 10”
- Malla antiáfido
- Jiffys
- Tutores de bambú
- Invernadero
- Estacas de plásticos
- Bolsas de plásticos
- Papel toalla
- Vistoras de plástico transparente
- Bandejas
- Nitrógeno líquido a -196 grados centígrados
- Pinzas
- Removedor de polvo en aerosol
- plumones de tinta indeleble
- bolsas de papel Kraft

### **CLONES UTILIZADOS**

En el experimento se trabajó con trece clones de papas precoces (90 – 100 días de periodo vegetativo) y procedentes de poblaciones mejoradas por el CIP. En investigaciones previas se les ha reportado cierta tolerancia a sequía (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Características de los clones de papa utilizados en el experimento.**

Clon	Var.	Período vegetativo (días)	Ploidía	Especie
392797_22	Única	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
398193_553	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
398098_203	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
390663_8	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
397077_16	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
398180_292	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
394611_112	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
395195_7	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
398203_509	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
394223_19	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
300072_1	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
398208_58	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum
392759_1	–	Precoz (90-110)	4x	S. tuberosum

### **3.3. PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍAS**

#### **3.3.1. PROCEDIMIENTOS**

**INSTALACION DEL EXPERIMENTO:** Previo a la siembra se procedió a desinfectar el ambiente del invernadero con fungicida e insecticida diluido; luego se hizo un lavado únicamente con agua, a fin de no correr riesgo de presentar algún tipo de agente contaminante de la campaña anterior.

#### **MANEJO AGRONOMICO:**

a. **PREPARACION DE LA SEMILLA:** La semilla fue producida en el CIP Huancayo bajo condiciones de invernadero a partir de plántulas *in-vitro* y sometidas a verdeamiento y suberización de la piel. Después de inducido el brotamiento en cámara de calor (28°C) se logró tener los brotes necesarios para la siembra.

b. **PRE-SIEMBRA:** Previamente a la siembra, se procedió a esterilizar 1800Kg de suelo. En una cámara de vapor de 100 grados centígrados durante dos horas. Luego de enfriar el suelo, se realizó la fertilización con Nitrato de Amonio, Superfosfato Simple y



Sulfato de Potasio en la dosis N- P – K 60-150-60; la mezcla se volteó tres veces para su homogenización.

Se desinfectaron macetas y platos con Hipoclorito de sodio con una concentración de 0.5/1000 ml. Seguidamente, se realizó el llenado de macetas con 950 gr de sustrato. En la base de cada maceta se colocó malla antiáfida de 30X30 cm con la finalidad de evitar pérdida de suelo. Finalmente, se aplicó una lámina de agua de 500 ml con el propósito de llevarlo a capacidad de campo (CC) y con esto garantizar un buen enraizamiento y emergencia de plantas.

c. **SIEMBRA:** Una vez ya listas todas las macetas, se procedió con la siembra. Se realizó hoyos de 15-20 cm aproximadamente, y luego se colocó la semilla-tubérculo con cuidado para no dañar los brotes y que estos tengan una orientación hacia arriba. Previamente corroborada la codificación de los tubérculos se procedió a taparlos con la cantidad de suelo adecuada. Se incorporó a través del riego, Farmathe y Pentacloro a una concentración de 2/1000 ml para evitar daños de chupadera (*Rhizotocnia sp.*).

d. **COLOCACION DE TUTORES:** Debido al efecto del crecimiento dentro de un invernadero, las plantas tienden a crecer en exceso y esto dificulta las evaluaciones. Por ello, se implementaron tutores usando bambúes con un peso de 30 gr.

e. **APLICACIONES DE AGROQUÍMICOS:** Se utilizaron los siguientes productos de acuerdo a la etapa fenológica:

**Fungicidas:** FARMATHE (Benomil) y Pentacloro (pentacloronitrobenzeno) con una dosis de 2/1000 ml aplicados foliarmente y a través del riego con 200 cc/maceta en preemergencia, emergencia y primeras semanas de crecimiento vegetativo.

**Insecticidas:** PROVADOCOMBI PIN (imidacloprid) a una concentración de 1-1.5 ml/1000 ml a los 45, 60 y 80 días después de la siembra; GLADIADOR (Acetamiprid y Lambdacialotrina) a una concentración de 0.5-2 ml/1000 ml a los 45, 60 y 80 días después de la siembra; VERTIMEC (Abamectina) a una concentración de 1-2 ml/1000 ml a los 45, 60 y 80 días después de la siembra.

**Abonos foliares:** PETTER12-12-12 (N, P<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>O), soluble en agua a la dosis de 3-4g/litro durante las primeras semanas de crecimiento vegetativo; BAYFOLAN 250 SL (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Hierro, Manganeso, Boro, Cobre, Zinc, Cobalto, Molibdeno, Azufre, Magnesio, Calcio, Vitamina B1 y auxinas de crecimiento). Es un fertilizante foliar líquido, aplicado para ayudar a la recuperación rápida de las plantas después de cada aplicación de insecticidas. Fue incorporado a una dosis de 2-3 ml/1000 ml en la mezcla de insecticidas.

### **3.3.2. METODOLOGÍA**

#### **3.3.2.1. EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO O LISIMÉTRICO PARA LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DE USO DE AGUA (EUA)**

##### **Tratamientos de Riego: Sequía Regulada y Riego Normal**

El presente método fue establecido y/o mejorado por Sinclair & Ludlow (1986), Weisz *et al.* (1994), Ray & Sinclair (1997) y Ray & Sinclair (1998), para ser utilizado en la medición de la eficiencia de uso de agua en plantas y es aplicado por el Centro Internacional de la Papa en las investigaciones sobre la tolerancia al estrés hídrico en papa. Se considera la siembra de 15 macetas por clon. A los 30 días después de la siembra se procedió a iniciar la prueba de Sequía Regulada. 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 de 10 % en el que se realizó la cosecha final del experimento.

Primeramente se hizo un tamiz de las variaciones de transpiración dentro de un mismo clon, y según ello se seleccionó las macetas para cada tratamiento. El criterio de selección de las macetas para cada tratamiento en cada uno de los clones fue el siguiente: la primera maceta con un valor de transpiración promedio, la segunda maceta con el menor valor de transpiración, la tercera maceta con el mayor valor de transpiración, la cuarta maceta con un valor medio entre el promedio y la menor transpiración y la quinta maceta con un valor medio entre el promedio y la mayor transpiración. Estas suman las cinco macetas de un mismo clon asignadas para un mismo tratamiento, es decir cinco

macetas para precosecha, sequía regulada y riego normal respectivamente, en total quince macetas por clon (Figura 2). De los cuales la Precosecha, solo es considerada en un inicio para calcular la biomasa inicial, la cual por diferencia con la biomasa final se obtuvo el incremento de biomasa usado en los cálculos de la eficiencia de transpiración posteriores.



**Figura 2. Esquema de Tratamiento de riego en Sequía Regulada, 15 macetas iniciales, posteriormente cinco macetas en precosecha, cinco macetas en riego normal y cinco macetas en sequía regulada.**

Para minimizar la influencia en la transpiración a lo largo de los días, la tasa de transpiración diaria del tratamiento de sequía regulada en cada maceta, es normalizada a partir de un promedio de las plantas sometidas bajo el tratamiento de riego normal o control. Esto es mostrado en la:

$$TT = \frac{\text{transpiración\_de\_planta\_en\_sequía\_regulada}}{\text{transpiración\_promedio\_de\_plantas\_control}}$$

**Ecuación 1: Cálculo de la Transpiración Relativa**

Donde TT es la transpiración relativa. Una segunda normalización es realizada para remover la variación en la TT debida al tamaño de planta. La TT diaria de cada maceta en el tratamiento de sequía regulada es dividida entre el promedio de los tres primeros días (Ray & Sinclair, 1997). Esto es mostrado en la Ecuación.

$$TN = \frac{TT\_de\_la\_planta}{TT\_promedio\_de\_tres\_primeros\_días\_de\_la\_planta}$$

**Ecuación 2: Cálculo de la Transpiración Normalizada**

Donde TN es la transpiración normalizada y sirve para eliminar variaciones, y partir de condiciones iniciales estables, como las adecuadas condiciones de agua disponible en el suelo. Después de esta normalización, los valores iniciales de la TN en el tratamiento de sequía regulada fueron cercanos a 1.0, para luego ir descendiendo (Ray *et al.*, 2002). Todo este procedimiento fue realizado en una hoja de cálculo (MS Excel 2003).

La tasa de transpiración normalizada (TTN) (Ecuación 3) es el promedio de las TN para cada día en cada maceta. Cuando la TTN era a menor a 0.10 indicaba el final de la prueba de sequía regulada. Ya que, al llegar a dicho valor de TTN significaba que la planta estaba cercana a morir, y se procuraba evitar esto para la cosecha.

$$TTN = \frac{TN1 + TN2 + TN3 + TN4 + \dots + n}{n}$$

### **Ecuación 3: Cálculo de la Tasa de Transpiración Normalizada**

Una vez establecido el final de la cosecha de una planta se procede a calcular la Eficiencia de Uso de Agua que está en función a la Eficiencia de Transpiración (TE). La eficiencia de transpiración en gramos de biomasa formada por kilogramo de agua transpirada (g de biomasa kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O transpirada), fue determinada a partir del incremento de la biomasa seca (g pta<sup>-1</sup>) desde el inicio de la prueba, hasta la cosecha final. Por tal motivo, la precosecha es útil para establecer el punto inicial de la biomasa cuando empieza la prueba. La transpiración acumulada es determinada como la sumatoria de las transpiraciones diarias de cada maceta (en cada clon y según su tratamiento de riego).

La transpiración diaria ( $T_{día}$ ) fue calculada a partir de la siguiente relación de pesos de macetas:

$$T_{día\_d-1} = (Peso\_maceta\_día\_d - 1) - (Peso\_maceta\_día\_d)$$

### **Ecuación 4: Cálculo de la Transpiración Diaria**

La Transpiración acumulada ( $T_{total}$ ) fue calculada a partir de las sumas de las transpiraciones diarias hasta el día final N.

$$T_{total} = T_{dia\_1} + T_{dia\_2} + T_{dia\_3} + \dots + T_{dia\_N}$$

#### **Ecuación 5: Cálculo de la Transpiración Total**

La cuantificación de la eficiencia de uso de agua ( $EUA$ ) está en función de la Biomasa Seca total calculada en la cosecha final y la evapotranspiración total que en este caso es la transpiración total, según la siguiente ecuación:

$$EUA = \frac{BT}{T_{total}}$$

#### **Ecuación 6: Cálculo de la Eficiencia de Uso de Agua**

Dónde:

- $BT$  : Biomasa Seca total (g)  
 $T_{total}$  : Transpiración de total del cultivo (kg de H<sub>2</sub>O)

### **3.3.2.2. MÉTODO INSTANTÁNEO PARA LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DE USO DE AGUA (EUA)**

El presente método fue utilizado por varios investigadores en la medición de la eficiencia de uso de agua en plantas y es una tendencia en la actualidad (Von Caemmerer & Farquhar (1981), Flexas *et al.* 2002; Tambussi & Graciano (2010), Yuan *et al.*, 2003; y Kaminski *et al.*, 2014); es aplicado por el Centro Internacional de la Papa en las investigaciones sobre la tolerancia al estrés hídrico en papa. Una gama de sistemas portátiles se encuentra actualmente disponibles permitiendo a los usuarios hacer mediciones de diferentes parámetros de la fotosíntesis en tiempo real (Lopes *et al.*, 2013)

#### ***Información Básica sobre Intercambio Gaseoso***

El intercambio gaseoso puede medirse actualmente debido al descubrimiento de que las moléculas de gas hetero-atómicas. Las cuales absorben radiación en bandas específicas

de longitudes de onda del infrarrojo, y cada una tiene un espectro de absorción característico. Las moléculas de gas que consisten de dos átomos idénticos (e.g. O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) no absorben esta radiación de longitud de onda infrarroja (IR), y por lo tanto, no interfieren en la determinación de la fracción molar de las moléculas hetero-atómicas (Long, 1996 citado por Lopes *et al.*, 2013). El análisis de gases mediante radiación infrarroja ha sido usado para medir una amplia gama de moléculas de gases hetero-atómicos, incluyendo CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, CO, N<sub>2</sub>O e hidrocarburos gaseosos. El único gas normalmente presente en el aire con un espectro de absorción que se solapa con aquél del CO<sub>2</sub>, es el vapor de agua; ambas moléculas absorben radiación infrarroja en la región de los 2.7 µm. Como el vapor de agua está usualmente presente en el aire en concentraciones muy variables y a concentraciones (fracción molar) mucho más elevadas que el CO<sub>2</sub>, esta interferencia es significativa (Lopes *et al.*, 2013). La mayoría de los sistemas comerciales de intercambio gaseoso contienen dos IRGAs, uno para medir el flujo de CO<sub>2</sub> y otro para medir el flujo de vapor de agua. Estos proporcionan medidas de intercambio gaseoso que se utilizan en el cálculo de las tasas de fotosíntesis (A) y transpiración (E) según la ley de Fick mencionada por Lopes *et al.* (2013) (Ecuación 7 y Ecuación 8), la cual mide la tasa de difusión de los gases tal como sigue:

$$A = (\text{Flujo de Aire} \times \Delta\text{CO}_2) / \text{Área foliar}$$

**Ecuación 7: Ley de Fick \_Fotosíntesis Neta**

$$E = (\text{Flujo de Aire} \times \Delta\text{H}_2\text{O}) / \text{Área foliar}$$

**Ecuación 8: Ley de Fick \_Transpiracion**

***Ecuaciones del Intercambio Gaseoso calculadas por el LI-6400 XT***

Las ecuaciones para la fotosíntesis neta, la transpiración, etc. son esencialmente las derivadas por Von Caemmerer & Faquhar (1981). Estas ecuaciones representan los valores predeterminados del equipo y pueden ser modificadas o reemplazadas según lo desee el usuario (Extraído de <http://www.licor.com>).

### ***Transpiración***

El Balance de vapor de agua en un sistema abierto como el del LI-COR está dado por:

$$sE = u_o w_o - u_e w_e$$

#### **Ecuación 9: Cálculo de la Transpiración\_1**

Donde  $s$  es el área de la hoja en  $m^2$ ,  $E$  es la tasa de transpiración ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ),  $u_e$  y  $u_o$  son las tasas de flujos entrantes y salientes respectivamente ( $\text{mol s}^{-1}$ ) de la cámara, y  $w_e$  y  $w_o$  son las fracciones de agua molar entrantes y salientes respectivamente ( $\text{mol H}_2\text{O mol air}^{-1}$ ). Ya que:

$$u_o = u_e + sE$$

#### **Ecuación 10: Cálculo de la Transpiración\_2**

Entonces se puede escribir:

$$sE = (u_e + sE)w_o - u_e w_e$$

#### **Ecuación 11: Cálculo de la Transpiración\_3**

Y se reorganiza como:

$$E = \frac{u_e(w_o - w_e)}{s(1 - w_o)}$$

#### **Ecuación 12: Cálculo de la Transpiración\_4**

Sintetizando, la relación entre los términos de la Ecuación y/o que el LI-COR mide son:

$$u_e = F/10^6$$

$$w_e = W_r/10^3$$

$$w_o = W_s/10^3$$

$$s = S/10^4$$

Donde "E" es la tasa de transpiración ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), " $u_e$ " es la tasa de flujo entrante ( $\text{mol s}^{-1}$ ) de la cámara y " $F$ " es la tasa de flujo de aire molar de la cámara de la hoja ( $\mu\text{mol s}^{-1}$ ). También,  $w_e$  y  $w_o$  son las fracciones de agua molar entrantes y salientes respectivamente ( $\text{mol H}_2\text{O mol air}^{-1}$ ),  $W_s$  y  $W_r$  son las fracciones de agua molar tanto de la muestra como referencial del vapor de agua respectivamente ( $\text{mmol H}_2\text{O (mol air)}^{-1}$ ). Por último, " $s$ " y " $S$ " son las áreas de la hoja o áreas foliares en  $\text{m}^2$  y  $\text{cm}^2$  respectivamente. Entonces, la ecuación predeterminada que el LI-COR usa para la Transpiración a partir de los términos:

$$E = \frac{F(W_s - W_r)}{100S(1000 - W_s)}$$

**Ecuación 13: Cálculo de la Transpiración\_5**

***Fotosíntesis Neta***

El Balance de masa de  $\text{CO}_2$  en un sistema abierto como el del LI-COR es dado por:

$$sa = u_e c_e - u_o c_o$$

**Ecuación 14: Cálculo de la Fotosíntesis Neta\_1**

Donde " $s$ " es el área foliar en  $\text{m}^2$  y " $a$ " es la tasa de asimilación neta de  $\text{CO}_2$  ( $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ),  $c_e$  y  $c_o$  son las concentraciones de reacciones molares entrando y saliendo respectivamente ( $\text{mol CO}_2 \text{ mol air}^{-1}$ ) de Dióxido de Carbono. Usando la Ecuación 1 se puede deducir:

$$sa = u_e c_e - (u_e + sE)c_o$$

**Ecuación 15: Cálculo de la Fotosíntesis Neta\_2**

Donde  $E$  es la tasa de transpiración ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), el cual se reorganiza como:

$$a = \frac{u_e(c_e - c_o)}{s} - Ec_o$$

**Ecuación16: Cálculo de la Fotosíntesis Neta\_3**

Donde " $a$ " es la tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  ( $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

Para escribir la ecuación 16 en términos que el LI-COR mide sería:



$$c_e = C_r / 10^6$$

$$c_o = C_s / 10^6$$

$$a = A / 10^6$$

**Ecuación17: Cálculo de la tasa de Asimilación del CO<sub>2</sub>**

Donde  $c_e$  y  $c_o$  son las fracciones molares entrando y saliendo (mol CO<sub>2</sub> mol air<sup>-1</sup>) de Dióxido de Carbono, respectivamente. Además, “ $C_r$  y  $C_s$ ” son las concentraciones de CO<sub>2</sub> referencial y de la muestra, respectivamente (μmol CO<sub>2</sub> mol air<sup>-1</sup>), y “ $A$ ” y “ $a$ ” son la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> de la hoja en μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> de la hoja en mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente. Entonces la Ecuación 18 calcula:

$$A = \frac{F(C_r - C_s)}{100S} - C_s E$$

**Ecuación 18: Cálculo de la Fotosíntesis Neta\_4**

En un sistema abierto, el flujo de aire con una concentración conocida de CO<sub>2</sub> fluye constantemente a través de la cámara de la hoja. El objetivo es proporcionar una concentración estable de CO<sub>2</sub>. Como resultado de la fotosíntesis, el aire que sale de la cámara (normalmente llamado “la muestra”) tendrá una concentración de CO<sub>2</sub> inferior, así como una mayor concentración de agua, en comparación con el aire que entra a la cámara (normalmente llamado “la referencia”). Una variación del sistema abierto es el sistema compensatorio, en el que el CO<sub>2</sub> consumido durante la fotosíntesis se compensa con la inyección de CO<sub>2</sub> hasta alcanzar un equilibrio (llamado “equilibrio nulo”). En ese punto de equilibrio, la tasa de fotosíntesis es igual a la cantidad de CO<sub>2</sub> que es inyectada. Los sistemas antiguos eran de tipo cerrado, pero en la actualidad la mayoría de los sistemas de fotosíntesis son principalmente de tipo abierto. Una de las ventajas de los sistemas abiertos es que el flujo de aire entrante se puede condicionar, o sea, la humedad, la concentración de CO<sub>2</sub>, la temperatura, etc., se pueden establecer *a priori*, antes de entrar al sistema. Los sistemas abiertos más recientes que se encuentran en el mercado

incorporan los dos IRGA en la cabeza del sensor, comparados con el sistema abierto tradicional que los incorporaba en la consola. Los analizadores IRGA en la cabeza del sensor permiten un control de la respuesta más rápido y más preciso, eliminando demoras debido al paso de los gases por las tuberías del aparato. La dinámica fotosintética de la hoja se mide en tiempo real ya que se elimina la necesidad de conexiones de tuberías entre la cámara y la consola. Estos sistemas también eliminan la absorción de agua en la tubería que conecta la cámara y la consola, permitiendo medidas más exactas (Lopes *et al.* 2013)

Se definieron *a priori* las variables que participaron e influyeron directa e indirectamente en las mediciones. Entre los parámetros más importantes se encuentran:

- A: La tasa de flujo Neta de CO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).
- La Humedad Relativa: La del medio ambiente (RH\_R ) y la de la muestra u hoja (RH\_S )
- La Temperatura del Aire, hoja y de la cámara o bloque (Tair, Tleaf, TBlk).
- PAR (*Photosynthetically Active Radiation*)
- Área Foliar de la muestra ( $\text{cm}^2$ )

Como primer paso se realizó una calibración con el CO<sub>2</sub>. Luego se ingresaron las cantidades deseadas para cada parámetro:

- 400  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de flujo de CO<sub>2</sub>
- 40% de Humedad Relativa del medio ambiente (RH\_R)
- 22 Grados Centígrados de Temperatura del bloque(TBlk)
- 1500 PAR (*Photosynthetically Active Radiation*)
- 6  $\text{cm}^2$  de Área de la muestra en evaluación

Seguidamente se procedió a encender el IRGA y la fuente de energía LED, luego se insertó un foliolo con mayor actividad fotosintética (perteneciente al tercio superior de la planta y en la parte intermedia de la hoja). Previamente calculada el área de dicha muestra (6  $\text{cm}^2$ ) se cerró de manera hermética la cámara. Se registró la fecha y nombre de la muestra en el equipo (consola) y luego se procedió a esperar y observar que las curvas de fotosíntesis y transpiración alcancen la estabilidad o equilibrio. Finalmente se

registraron dichos datos para cada una de las repeticiones según los respectivos clones y tratamientos.

### **3.3.2.3. CORRELACIÓN ENTRE MÉTODO TOTALIZADOR Y EL MÉTODO INSTANTÁNEO**

Por medio de la correlación se puede estudiar el grado de asociación que existe entre dos variables (Calzada, 1970). En este caso se trata de una misma variable (Eficiencia de Uso de Agua) medida con dos métodos diferentes: El Método Totalizador o del Lisímetro y El Método Instantáneo con el LI-COR 6400 XT. En la presente investigación se trabajó con el coeficiente de determinación  $r^2$  y el valor P (P value) para determinar la significancia estadística de la existencia o no de una correlación real. Para ello se usó el programa GRAPHPAD PRISM 5.

#### **3.3.2.3.1. Procedimiento de Interpretación de los Resultados**

Quizás la mejor manera de interpretar el valor de  $r$  es al cuadrado. Los estadísticos llaman a esta cantidad el coeficiente de determinación, pero los científicos lo llaman "r cuadrado". Es un valor que varía de cero a uno, y es la fracción de la varianza en las dos variables que se "comparte". Por ejemplo, si  $r^2 = 0.59$ , entonces el 59% de la varianza en X puede explicarse por la variación en Y. Del mismo modo, el 59% de la varianza en Y puede explicarse por la variación en X. Más simplemente, el 59% de la varianza es compartido entre X e Y.

GRAPHPAD PRISM 5 solo calcula un valor  $r^2$  a partir del coeficiente de correlación de Pearson. No es apropiado calcular  $r^2$  a partir del coeficiente de correlación de Spearman no paramétrico.

#### ***Valor de r: Interpretación***

1.0: Correlación perfecta

0 a 1: Las dos variables tienden a aumentar o disminuir juntas.

0,0: Las dos variables no varían en absoluto.

0 a -1: Una variable aumenta a medida que la otra disminuye.

-1,0: Perfecta correlación negativa o inversa.

*Si  $r$  está lejos de cero, hay cuatro explicaciones posibles:*

Los cambios en la variable X cambian el valor de la variable Y.

Los cambios en la variable Y cambian el valor de la variable X.

Los cambios en otra variable influyen tanto en X como en Y.

X e Y realmente no se correlacionan en absoluto, y usted acaba de pasar a observar una correlación tan fuerte por casualidad. El valor P cuantifica la probabilidad de que esto pueda ocurrir.

### **El valor P responde a esta pregunta:**

Si realmente no hay correlación entre X e Y en general, ¿cuál es la probabilidad de que el muestreo aleatorio resultara en un coeficiente de correlación tan lejos de cero (o más) como se observó en este experimento?

Si el valor P es pequeño, y se puede rechazar la idea de que la correlación se debe al muestreo aleatorio.

Si el valor de  $P$  es grande, los datos no dan ninguna razón para concluir que la correlación es real. Esto no es lo mismo que decir que no hay correlación en absoluto. Simplemente no existen pruebas convincentes de que la correlación sea real y no debido al azar. Al observar el intervalo de confianza para  $r$ , se extenderá desde una correlación negativa hasta una correlación positiva. Si todo el intervalo consiste en valores cercanos a cero que considerarían biológicamente triviales, entonces se tiene una fuerte evidencia de que no hay correlación en la población o que hay una asociación débil (biológicamente trivial). Por otro lado, si el intervalo de confianza contiene coeficientes de correlación que se consideraría biológicamente importantes, entonces no se podría hacer ninguna conclusión fuerte de este experimento. Para hacer una conclusión fuerte, necesitará datos de un experimento más grande (GRAPHPAD PRISM 5, Manual de ayuda)

### **3.3.2.4. MEDICIÓN DE LA TRANSPIRACIÓN TOTAL ( $\text{g kg}^{-1}$ )**

Se obtuvo al sumar todas las cantidades diarias de agua transpirada durante todo el experimento desde antes de empezar la sequía (a partir del primer riego) hasta el día de la cosecha. Este parámetro se usó para calcular la EUA con el Método Totalizador o Lisimétrico.

### **3.3.2.5. MEDICIÓN DEL ÁREA FOLIAR (cm<sup>2</sup>)**

Se procedió a extraer una planta de cada clon. Las hojas colectadas fueron colocadas en Vistoras (micas transparentes) y posteriormente escaneadas. Las imágenes generadas fueron guardadas en formato “bmp”. Todas las hojas de la planta fueron colocadas en Vistoras acomodadas de tal manera que se evitó el traslape. Seguidamente, fueron escaneadas con un software “*CompuEye, Leaf&SymptomArea*” que calculó el área ocupada por las hojas, caracterizadas por el verdor de las imágenes escaneadas. Previamente, fueron codificadas de la siguiente manera: 106\_1, 106\_2, 106\_3 y así según la cantidad de hojas correspondientes de cada maceta. Con ello, finalmente se determinó el área total de las hojas.

### **3.3.2.6. MEDICIÓN DE LA BIOMASA (g) DEL TUBÉRCULO**

La biomasa o materia fresca fue obtenida de los pesos de todos los tubérculos (excluyendo al tubérculo-semilla madre) de cada maceta cosechada correspondiente a cada clon y tratamiento.

La materia fresca de los tubérculos de cada maceta cosechada correspondiente a cada clon y tratamiento, fue deshidratada en el horno a 80 grados centígrados durante 48 horas. Los pesos obtenidos, se consideraron como biomasa seca o materia seca.

### **3.3.2.7. MEDICIÓN DE LA BIOMASA TOTAL (g)**

Consta de biomasa fresca total, la cual es la suma de todos los pesos frescos de todas y cada una de las partes que constituyó una planta cosechada correspondiente a cada clon y tratamiento y de biomasa seca total, la cual es la suma de todos los pesos secos de todas y cada una de las partes que constituyó una planta cosechada correspondiente a cada clon y tratamiento.

### **3.3.2.8. MEDICIÓN DE LA ALTURA DE PLANTA (cm)**

Se procedió a medir la altura de la planta cada cinco días. Se consideró la longitud desde la base de la planta hasta la última inserción floral del tallo principal.

### 3.3.2.9. DISEÑO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental utilizado fue el Diseño Completo al Azar con arreglo Factorial, adecuado para las características de este experimento. La unidad experimental consto de una planta y/o maceta. Los factores por analizar fueron clones y tipo de riego. El factor clon consto de 13 genotipos. El factor tipo de riego tuvo dos tratamientos: riego normal y riego suspendido o sequía gradual. Las repeticiones fueron cinco por cada tratamiento de riego. Las unidades fueron distribuidas al azar.

Según Montgomery (2004), el modelo aditivo lineal correspondiente a este experimento con dos factores es el siguiente:

$$y_{(ijk)} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{(ijk)}$$
$$i = 1, 2, \dots, a$$
$$j = 1, 2, \dots, b$$
$$k = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

$y_{(ijk)}$  Corresponde al resultado del i-ésimo clon de papa con el j-ésimo tipo de riego.

$\mu$  Es el efecto de la media general.

$\alpha_i$  Mide los efectos del i-ésimo clon de papa.

$\beta_j$  Mide los efectos del j-ésimo tipo de riego.

$(\alpha\beta)_{ij}$  Mide los efectos de la interacción del i-ésimo clon de papa y el j-ésimo tipo de riego.

$\varepsilon_{(ijk)}$  es un componente del error aleatorio

A continuación se indica cómo se probaron las hipótesis utilizando un análisis de varianza para dos factores (Montgomery 2004, Cuadro 4):

**Cuadro 4: Tabla del análisis de varianza para el diseño factorial de dos factores, modelo con efectos fijos**

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de Libertad (gl)</b>	<b>Suma de Cuadrados (SC)</b>	<b>Cuadrados Medios (CM)</b>	<b>Fc</b>
Factor Clon (C)	a-1	SS <sub>C</sub>	MS <sub>C</sub> =SS <sub>C</sub> /(a-1)	F <sub>C</sub> =MS <sub>C</sub> /MS <sub>E</sub>
Factor Tipo de riego (R)	b-1	SS <sub>R</sub>	MS <sub>R</sub> =SS <sub>R</sub> /(b-1)	F <sub>C</sub> =MS <sub>R</sub> /MS <sub>E</sub>
Interacción (C*R)	(a-1)(b-1)	SS <sub>CR</sub>	MS <sub>CR</sub> =SS <sub>CR</sub> /(a-1)(b-1)	F <sub>C</sub> =MS <sub>AB</sub> /MS <sub>E</sub>
Error	ab(n-1)	SS <sub>E</sub>	MS <sub>E</sub> =SS <sub>E</sub> /ab(n-1)	
Total	abn-1	SS <sub>T</sub>		

El estadístico de la prueba fue:

Para el efecto principal de clones“C”:

$$F_C = MS_C / MS_E ; F(gl(C), gl(error))$$

Para el efecto principal de tipo de riego “R”:

$$F_C = MS_R / MS_E ; F(gl(R), gl(error))$$

Para el efecto principal de la interacción “C\*R”:

$$F_C = MS_{CR} / MS_E ; F(gl(CR), gl(error))$$

Las hipótesis del Modelo I (efectos fijos) son, en términos de los efectos de los niveles de los factores evaluados, las siguientes:

Para el efecto principal de clones:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_a = 0$$

$$H_1: \text{al menos un } \alpha_i \neq 0$$

Para el efecto principal de tipo de riego:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_1: \text{al menos un } \beta_j \neq 0$$

Para el efecto principal de la interacción:

H<sub>0</sub>:  $(\alpha\beta)_{ij}=0$  para todas las  $i, j$

H<sub>1</sub>: al menos un  $(\alpha\beta)_{ij}\neq 0$

Para las reglas de decisión, las hipótesis nulas se rechazan (según el nivel de significación  $\alpha$ ) si el  $F_c$  es mayor que el del valor de la tabla F ( $1-\alpha$ ), con los grados de libertad correspondientes a cada caso. Se evaluó primero la hipótesis correspondiente a la interacción entre los dos factores (clones y riego) en cada una de las variables evaluadas. De no existir interacción significativa, únicamente se procedió a realizar un análisis de promedios (tukey) para evaluar los efectos de los clones y del tipo de riego por separado; donde se agruparon según sus diferencias bajo una misma letra. En cambio, de existir interacción significativa entre los dos factores (clones y riego) se procedió a analizar los efectos simples de las diferencias entre promedios. Ya sea, evaluando los efectos de los tratamientos de riego para los clones y también los efectos de los clones sobre los tratamientos de riego. Para el procesamiento de los datos se usó el programa SAS (SAS Institute 1990).

En cuanto al análisis de la asociación o comparación de los dos métodos (instantáneo y lisimétrico) para evaluar la EUA se usó el programa GRAPH PAD PRISM 5, calculando el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) que mide el nivel de asociación que pueda existir entre ambos métodos.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. EFICIENCIA DE USO DE AGUA

#### 4.1.1 Método lisimétrico o totalizador (EUA\_LM; g kg<sup>-1</sup>)

De acuerdo al Análisis de Varianza (Anexo 2) de la eficiencia del uso de agua por el método Lisimétrico (EUA\_LM), se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre clones y entre los tratamientos de riego. La interacción clon x tratamientos de riego no fue estadísticamente significativa.

La eficiencia de uso de agua medida por el método Lisimétrico fue mayor (8,877 g Kg<sup>-1</sup>) en las plantas con sequía (Cuadro 5). Por otro lado, se encontró que el clon 397077\_16, obtuvo la mayor EUA\_LM, aunque sin diferencias estadísticas con otros 6 clones (390663\_8, 395195\_7, 392797\_22, 300072\_1, 394611\_112, 398203\_509).

Saji (2009), al trabajar con papas nativas en Cusco, encontró que los valores de EUA\_LM en plantas con riego normal fueron desde 3.0 a 5.9 g Kg<sup>-1</sup> y desde 3.1 a 7.2 g Kg<sup>-1</sup> en plantas bajo sequía. Medrano (2012), evaluando otros clones, registró en Huancayo valores de EUA\_LM en que promediaron entre 4.19 g Kg<sup>-1</sup> (para riego normal) y 4.62 g Kg<sup>-1</sup> (para sequia). Como se puede observar, la EUA\_LM en Lima fue mayor comparándola a las de Cusco y Huancayo; de igual manera, se encuentra la constante que los clones sometidos a sequia obtuvieran mayores valores de EUA\_LM.

Se podría concluir que el clon 397077\_16, al encontrarse entre los primeros promedios entre los clones de mayor EUA determinado por el método Lisimétrico y por presentar una de las menores variaciones de EUA\_LM en condiciones de sequía y bajo riego normal, es el que podría tener el mejor potencial genético.

**Cuadro 5: Promedio de la Eficiencia de Uso de Agua en plantas de clones de papa bajo condiciones de sequía y riego normal. Método Lisimétrico (g Kg<sup>-1</sup>)**

clon	sequia	riego normal	Promedio
397077_16	9,969 ± 0,514	8,322 ± 0,453	9,145 a
390663_8	9,582 ± 0,543	7,645 ± 0,466	8,614 a b
395195_7	9,668 ± 0,942	7,533 ± 0,701	8,601 a b
392797_22	8,987 ± 0,367	7,755 ± 0,295	8,371 a b c
300072_1	9,502 ± 0,502	6,875 ± 0,886	8,188 a b c d
394611_112	9,280 ± 2,078	6,876 ± 0,623	8,078 a b c d
398203_509	9,194 ± 0,902	6,899 ± 0,435	8,046 a b c d
392759_1	8,420 ± 0,247	7,118 ± 0,978	7,769 b c d
398180_292	8,717 ± 0,771	6,546 ± 0,751	7,632 b c d
394223_19	8,587 ± 0,831	6,321 ± 1,750	7,454 b c d
398193_553	8,093 ± 0,622	6,432 ± 0,372	7,262 c d
398098_203	7,441 ± 0,426	6,940 ± 0,582	7,191 c d
398208_58	7,956 ± 1,458	6,147 ± 0,639	7,052 d
Promedio General	8,877 a	7,031 b	7,954

#### 4.1.2. Método instantáneo usando el LI-6400XT: (EUA\_LI-COR, $\mu\text{mol CO}_2\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ )

De acuerdo al Análisis de Varianza (Anexo 3) de la eficiencia del uso de agua por el método instantáneo o con el LI-COR (EUA\_LI-COR), no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre clones; pero si entre los tratamientos de riego. La interacción clones x tratamientos de riego si fue estadísticamente significativa.

El clon 397077\_16, en promedio para los tratamientos de riego obtuvo el mayor valor absoluto de eficiencia de uso de agua medida por el método instantáneo, sin embargo no se diferenció estadísticamente del resto de los clones. De igual manera, se encuentra la constante que los clones sometidos a sequia obtuvieran mayores valores de eficiencia de uso de agua. Obteniendo un promedio general de EUA\_LI-COR de 7,298  $\mu\text{mol CO}_2\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$  con el tratamiento de sequía (Cuadro 6).

En el análisis estadístico de Efectos simples se encontró que los clones si tienen efecto sobre el tratamiento de riego normal, pero no en el de sequía. Esto podría ser explicado debido a que los clones sometidos a estrés hídrico por sequía se comportaron de igual manera al momento de la medición debido que dicho estrés afectó por igual a todos los clones. Por otro lado, en los clones con riego normal donde al tener un volumen

de riego optimo, según su demanda hídrica, se pudo distinguir diferencias en la EUA. Finalmente, en el efecto de los tratamientos de riego sobre cada clon, se obtuvo que los clones 300072\_1, 390663\_8, 392759\_1, 392797\_22, 395195\_7, 397077\_16, 398193\_5 y 398203\_5, se vieron afectados por los tratamientos de riego (ver Anexo 3).

**Cuadro 6: Promedio de la Eficiencia de Uso de Agua en plantas de clones de papa bajo condiciones de sequía y riego normal. Método Instantáneo ( $\mu\text{mol CO}_2\text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ )**

clon	sequia	riego normal	Promedio
300072_1	7,476 ± 0,476	4,287 ± 0,320	5,881(**)
390663_8	8,048 ± 1,211	4,927 ± 0,676	6,487(**)
392759_1	7,050 ± 1,084	5,379 ± 1,341	6,214(**)
392797_22	7,355 ± 1,804	5,794 ± 0,540	6,575(**)
394223_19	6,945 ± 1,055	6,055 ± 0,391	6,500(ns)
394611_112	6,935 ± 2,012	6,113 ± 1,077	6,524(ns)
395195_7	8,267 ± 0,475	5,509 ± 0,510	6,888(**)
397077_16	7,694 ± 0,237	6,323 ± 0,408	7,009(*)
398098_203	6,482 ± 1,518	6,144 ± 0,318	6,313(ns)
398180_292	8,011 ± 2,038	6,849 ± 0,898	7,430(ns)
398193_553	7,714 ± 0,255	6,141 ± 0,662	6,928(**)
398203_509	7,110 ± 0,630	5,240 ± 0,371	6,175(**)
398208_58	6,466 ± 0,529	5,326 ± 0,645	5,896(ns)
Promedio General	7,298 a	5,699 b	6,525

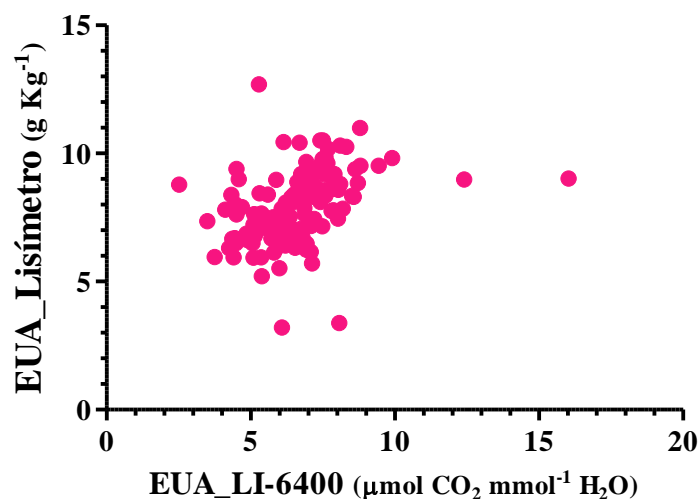
(\*) Presenta diferencias estadísticas significativas en la EUA bajo riego normal y sequía

(\*\*) Presenta diferencias estadísticas altamente significativas en la EUA bajo riego normal y sequía

(ns) No presenta diferencias significativas en la EUA bajo riego normal y sequía

#### 4.1.3 Correlación de datos de EUA entre el método Totalizador y el método Instantáneo

Al realizar la correlación de EUA de las 130 plantas de papa evaluadas tanto con el método totalizador versus con el método instantáneo se encontró que con un R square ( $R^2$ ) de 0.4 existe una correlación altamente significativa (\*\*\*). Entonces, se podría afirmar que el 40% de la variación en Y (EUA\_LM) puede ser explicada por la variación en X (EUA\_LI-COR). (Ver Anexo 4 y Gráfico 1).



**Gráfico 1: Correlación del Método Totalizador e Instantáneo para medir la Eficiencia de Uso de Agua en 130 plantas de clones de papa**

## 4.2 TRANSPIRACIÓN TOTAL DE LOS CLONES

### 4.2.1 Transpiración total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) medido con el método lisimétrico (TTOT)

De acuerdo al Análisis de Varianza (Anexo 5) de la Transpiración Total de clones por el método lisimétrico, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre clones y, también, entre los tratamientos de riego. Sin embargo, la interacción clon x tratamientos de riego no fue estadísticamente significativa.

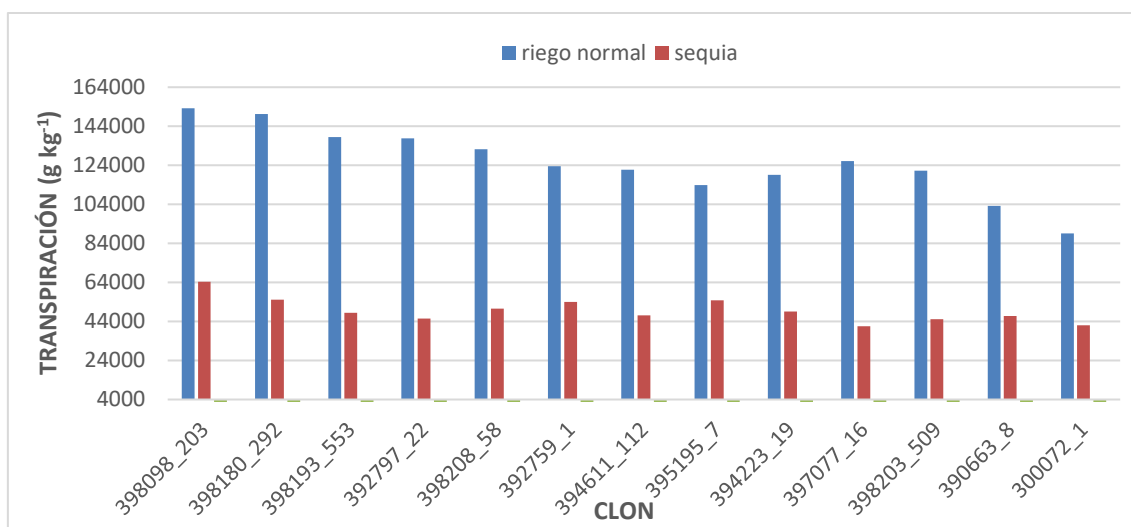
Con este método lisimétrico las plantas de los clones de papa con riego normal obtuvieron mayores valores de Transpiración Total (TTOT) con un promedio general de  $12\,537,6 \text{ g kg}^{-1}$  y de  $4957,3 \text{ g kg}^{-1}$  en riego normal y sequía, respectivamente. Las plantas de los clones de papa ante un estrés hídrico por sequía disminuyen su transpiración. Sadras & Milroy (1996), sostienen que esto podría deberse a que, en papa, el cierre estomático de la hoja ocurre con déficits de humedad del suelo relativamente bajos percibidos por las raíces. Por lo tanto, esto conduciría a una caída rápida y significativa en la transpiración. Ante una variación de la Transpiración Total, también, podría variar la Eficiencia de uso de agua de la planta. (Ver Cuadro 7)

Los clones 398098\_203 y 398180\_292 fueron los que más transpiración total presentaron, esto les podría conferir cierta ineficiencia en el uso de agua. En cambio, el

clon 397077\_16 el cual presento la mayor Eficiencia de Uso de agua, tanto con el método lisimétrico como con el instantáneo presentó, también, una transpiración total media. Confiéndole posiblemente una tolerancia al estrés hídrico por sequía (ver Gráfico 2).

**Cuadro 7: Promedios de la Transpiración Total de clones de papa (g kg<sup>-1</sup>). Método Lisimétrico**

clon	sequia	riego normal	Promedio
398098_203	6439,6 ± 1300,6	15316,8 ± 793,4	10878,2 a
398180_292	5521,6 ± 446,2	15026,4 ± 1640,0	10274,0 a
398193_553	4839,6 ± 563,2	13848,6 ± 1773,6	9344,1 a b
392797_22	4544,0 ± 445,9	13775,0 ± 1595,5	9159,5 a b c
398208_58	5051,8 ± 985,7	13222,2 ± 2544,2	9137,0 a b c
392759_1	5406,8 ± 655,9	12352,8 ± 1608,5	8879,8 a b c
394611_112	4705,4 ± 835,1	12179,6 ± 1285,4	8442,5 a b c
395195_7	5489,0 ± 905,3	11386,6 ± 2075,9	8437,8 a b c
394223_19	4908,2 ± 1022,1	11917,2 ± 5207,3	8412,7 a b c
397077_16	4151,4 ± 336,9	12614,0 ± 2451,9	8382,7 a b c
398203_509	4512,0 ± 561,8	12125,6 ± 1776,9	8318,8 a b c
390663_8	4680,2 ± 381,5	10316,2 ± 915,2	7498,2 b c
300072_1	4195,6 ± 340,0	8907,4 ± 3282,0	6551,5 c
Promedio General	4957,3 b	12537,6 a	8747,4



**Gráfico 2: Transpiración Total de clones de papa tomados con el método lisimétrico**

#### **4.2.2. Tasa de Transpiración medida con el LI-COR 6400XT: Tr mmol (mmolH<sub>2</sub>O (mol air)<sup>-1</sup>)**

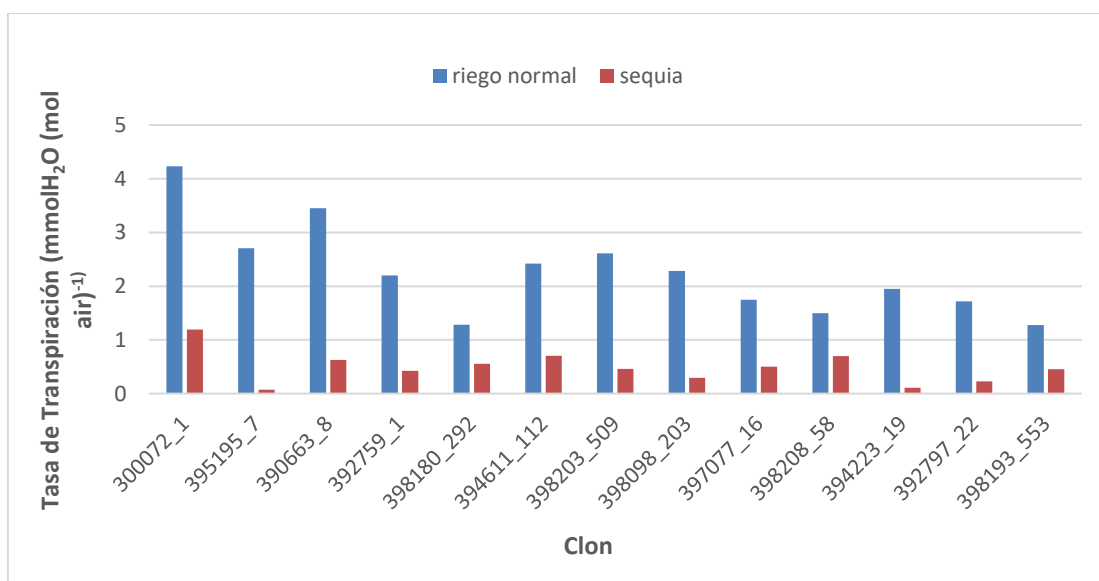
De acuerdo al Análisis de Varianza (Anexo 6) de la Tasa de Transpiración medida con el LI-COR 6400XT (Tr mmol), se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre clones y, también, entre los tratamientos de riego. Sin embargo, la interacción clon x tratamientos de riego no fue estadísticamente significativa.

Con el método lisimétrico se obtuvieron mayores valores en las transpiraciones de las plantas de los clones con riego normal, también, con este método instantáneo los clones de papa con riego normal obtuvieron mayores valores pero en su Tasa de transpiración medida con el LI-COR 6400XT (Tr mmol). Con un promedio general de 2.360 mmol H<sub>2</sub>O (mol air)<sup>-1</sup> y de 0.586 mmol H<sub>2</sub>O (mol air)<sup>-1</sup>, en riego normal y sequía respectivamente. Convirtiéndose ya en una constante. Las plantas de los clones de papa ante un estrés hídrico por sequía disminuyen su transpiración. Valores similares fueron obtenidos en plantas C3, para tratamiento de riego normal por Jianlin *et al.*, (2008). (Ver Cuadro 8)

Los clones 300072\_1 y 390663\_8 fueron los que presentaron mayores valores de Tasa de transpiración de las plantas de los clones de papa. Esto les podría conferir cierta ineficiencia en el uso de agua. En cambio, el clon 397077\_16 el cual presentó la mayor Eficiencia de Uso de agua, tanto con el método lisimétrico como con el método instantáneo presentó, también, una Tasa de transpiración media a baja. Esto le podría conferir o posiblemente una tolerancia al estrés hídrico por sequía (ver Gráfico 3).

**Cuadro 8: Promedios de la Tasa de Transpiración de clones de papa (mmolH<sub>2</sub>O (mol air)<sup>-1</sup>). Método con el LI-COR**

clon	sequia	riego normal	Promedio
300072_1	1,293 ± 0,253	4,332 ± 0,482	2,813 a
395195_7	0,175 ± 0,057	2,808 ± 0,705	1,491 a b
390663_8	0,729 ± 1,070	3,551 ± 0,288	2,140 a b
392759_1	0,523 ± 0,109	2,299 ± 0,884	1,411 a b
398180_292	0,654 ± 0,179	1,383 ± 0,546	1,019 a b
394611_112	0,802 ± 0,436	2,523 ± 0,316	1,662 a b
398203_509	0,558 ± 0,164	2,711 ± 0,383	1,635 a b
398098_203	0,394 ± 0,280	2,386 ± 0,267	1,390 a b
397077_16	0,603 ± 0,186	1,847 ± 0,452	1,225 a b
398208_58	0,797 ± 0,407	1,598 ± 0,515	1,197 a b
394223_19	0,210 ± 0,096	2,047 ± 0,174	1,128 a b
392797_22	0,330 ± 0,210	1,816 ± 0,615	1,073 a b
398193_553	0,553 ± 0,141	1,378 ± 0,630	0,966 b
Promedio General	0,586 b	2,360 a	1,473



**Gráfico 3: Tasa de Transpiración de clones de papa tomados con el LI-COR 6400XT**

#### 4.3. FOTOSÍNTESIS NETA: Photo ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

De acuerdo al Análisis de Varianza (Anexo 7) de la Fotosíntesis Neta medida con el LI-COR 6400XT, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre clones

y, también, entre los tratamientos de riego. Así mismo, la interacción clon x tratamientos de riego fue estadísticamente significativa.

En el análisis estadístico de Efectos simples se encontró que según cada planta de clones de papa estos influyen o afectan a ambos tratamientos de riego (riego normal y sequía). De igual forma, los tratamientos de riego si repercuten sobre cada planta de los clones de papa a excepción del clon 398208\_58 donde resultó no significativo el efecto de los tratamientos de riego sobre dicho clon (ver Anexo 7).

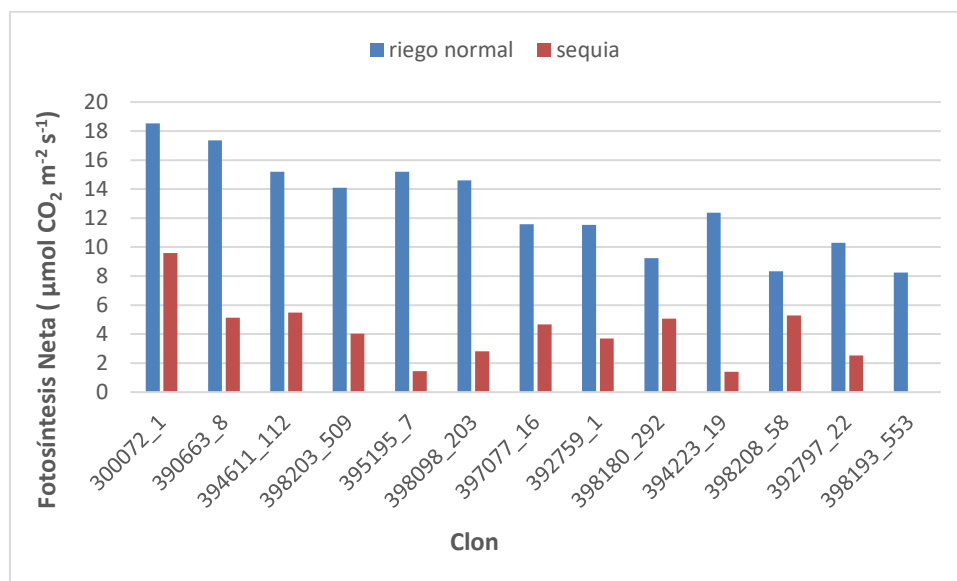
Los clones 300072\_1, 390663\_8 y 394611\_112 fueron los que más Fotosíntesis Neta presentaron, seguidos del clon 397077\_16 el cual presentó una Fotosíntesis Neta media (ver Gráfico 4). Sin embargo, el clon 397077\_16 fue el que presentó su tasa de transpiración más baja con respecto a dichos clones (ver Gráfico 3 y Cuadro 8)). Esto le confiere un mayor valor de su Eficiencia de Uso de agua.

En síntesis, se podría afirmar que el volumen de agua ingresado afecta la fotosíntesis neta de la planta de papa. En general, los valores de Fotosíntesis Neta obtenidos en promedio para condiciones normales ( $12,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) son similares a los obtenidos por Aienl *et al.*, (2011), para el periodo de llenado de tubérculo. Además, los clones con tratamiento de riego normal obtuvieron mayores valores de Fotosíntesis Neta comparados con los de sequía. La planta de papa al tener un mejor riego, tiene disponible más moléculas de agua con las que puede realizar más fotólisis y así tener más energía para sintetizar más carbohidratos, y de esta manera, elevar la frecuencia del proceso de Fotosíntesis (ver Cuadro 9 y Gráfico 4). Esto coincide con las respuestas de diferentes cultivares de papas a estrés hídrico; donde se mostró que todos los cultivares evaluados disminuyeron su intercambio gaseoso y asimilación neta de  $\text{CO}_2$  frente al estrés hídrico (Dalla Costa *et al.*, 1997; Pino, 2016).



**Cuadro 9: Promedios de la Fotosíntesis Neta de plantas de clones de papa ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) Método con el LI-COR**

clon	sequia	riego normal	Promedio
300072_1	9,588 $\pm$ 1,459	18,517 $\pm$ 2,022	14,052(**) a
390663_8	5,143 $\pm$ 6,918	17,353 $\pm$ 1,279	11,248(**) a b
394611_112	5,475 $\pm$ 2,705	15,196 $\pm$ 1,687	10,335(**) a b c
398203_509	4,034 $\pm$ 1,445	14,092 $\pm$ 1,112	9,063(**) b c d
395195_7	1,454 $\pm$ 0,500	15,204 $\pm$ 2,951	8,329(**) b c d
398098_203	2,814 $\pm$ 2,455	14,604 $\pm$ 1,057	8,709(**) b c d
397077_16	4,669 $\pm$ 1,594	11,571 $\pm$ 2,283	8,120(**) b c d
392759_1	3,694 $\pm$ 1,006	11,530 $\pm$ 2,194	7,612(**) b c d
398180_292	5,065 $\pm$ 1,125	9,227 $\pm$ 2,889	7,146(**) c d
394223_19	1,401 $\pm$ 0,591	12,379 $\pm$ 1,124	6,890(*) c d
398208_58	5,281 $\pm$ 2,853	8,330 $\pm$ 2,280	6,805(*) c d
392797_22	2,531 $\pm$ 1,797	10,288 $\pm$ 2,786	6,409(**) d
398193_553	4,268 $\pm$ 1,108	8,241 $\pm$ 3,507	6,254(ns) d
Promedio General	4,263 b	12,810 a	8,536



**Gráfico 4: Fotosíntesis Neta de plantas de clones de papa medido con el LI-COR6400XT**

#### **4.5. ALTURA DE PLANTA (cm)**

**Altura de planta con un día de iniciada la sequía (ALT\_01)**

**Altura de planta con once días de iniciada la sequía (ALT\_11)**

**Altura de planta con treinta y seis días de iniciada la sequía (ALT\_36)**

Hubieron tres Alturas de planta tomadas en diferentes fechas: La primera Altura (ALT\_01) tomada a los 01 días después de iniciada la sequía, la segunda Altura (ALT\_11) tomada a los 11 días después de iniciada la sequía y la tercera Altura (ALT\_36) tomada a los 36 días después de iniciada la sequía casi a la cosecha.

De acuerdo al Análisis de Varianza (Anexo 8), en la primera, segunda y tercera Altura se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre clones. En los tratamientos de riego, para la primera y segunda Altura no se encontraron diferencias estadísticamente significativas más la tercera Altura si presento diferencias estadísticamente significativas. De la misma forma, para la interacción de clon x tratamientos de riego solo la tercera Altura presento diferencias significativas, más en la primera y segunda Altura no se encontraron diferencias significativas.

En el análisis estadístico de Efectos simples de la tercera Altura se observó que los clones si tienen efecto sobre ambos tratamientos de riego. De la misma forma, los tratamientos de riego si afectan o tienen efecto sobre cada clon, a excepción de los clones 300072\_1, 390663\_8, 394223\_1, 395195\_7, 398098\_2, 398180\_2 y 398208\_5 ( ver Anexo 8).

En la Altura de planta (cm) para las tres fechas de evaluación (ALT\_01, ALT\_11 y ALT\_36) se distinguió que los clones 39818092\_292, 398098\_203, 398193\_553 y 398208\_58 se mantuvieron entre los de mayor Altura de planta diferenciándose del resto de clones en las tres fechas de Altura (ver Cuadros 10, 11, 12 y Gráfico 5) Además, el clon 397077\_16 el cual ha estado mostrando cierta tolerancia al estrés hídrico por sequía se mantuvo en último lugar con valores menores de Alturas durante las tres fechas de evaluación. Esto podría deberse a que para tolerar mejor la sequía, y así ser más eficiente en el uso de agua reduce su altura de planta. Resultados similares encontró Anithakumari

*et al.*, (2012) cuando evaluaron 103 variedades de papa, bajo macetas en Holanda, para tratamientos de sequía y riego.

**Cuadro 10: Promedios de la altura de planta de clones de papa con un día de iniciada la sequía**

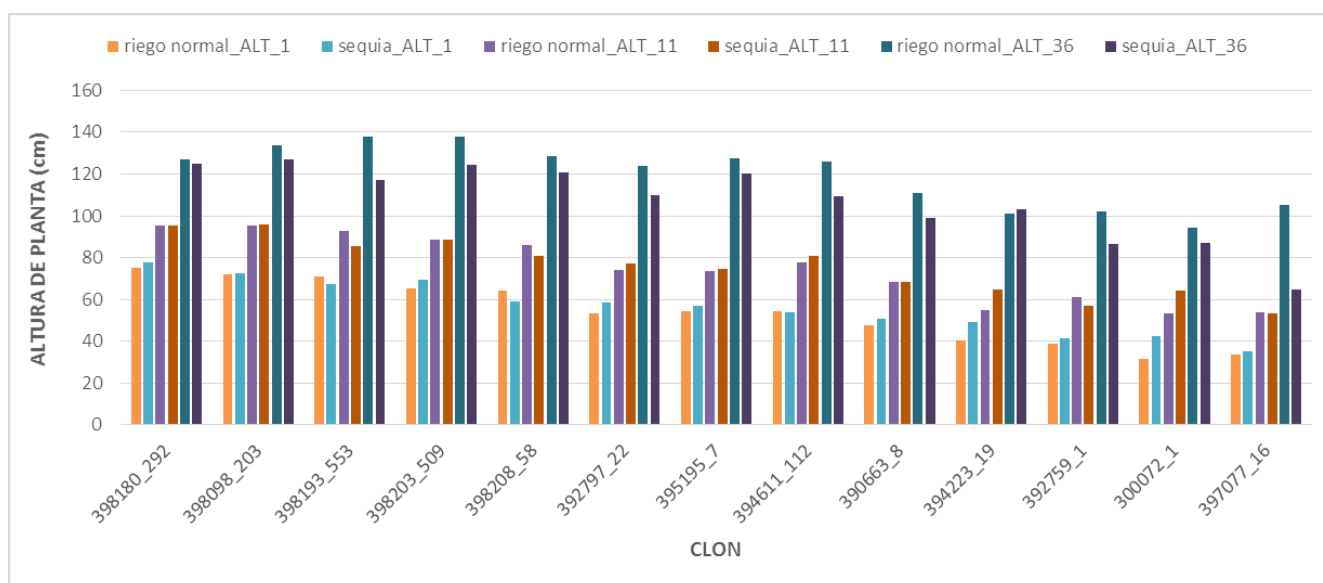
clon	sequia	riego normal	Promedio
398180_292	77,6 ± 6,5	75,0 ± 2,2	76,3 a
398098_203	72,6 ± 5,5	71,8 ± 8,3	72,2 a b
398193_553	67,6 ± 5,1	70,8 ± 6,0	69,2 a b
398203_509	69,2 ± 9,7	65,4 ± 5,0	67,3 a b c
398208_58	59,0 ± 7,7	64,4 ± 5,2	61,7 b c d
392797_22	58,6 ± 2,1	53,4 ± 5,0	56,0 c d e
395195_7	57,0 ± 4,8	54,4 ± 10,8	55,7 c d e
394611_112	53,8 ± 6,2	54,6 ± 6,3	54,2 d e
390663_8	50,6 ± 5,7	47,6 ± 4,2	49,1 d e f
394223_19	49,4 ± 3,4	40,2 ± 22,7	44,8 e f g
392759_1	41,4 ± 4,6	38,8 ± 4,9	40,1 f g
300072_1	42,6 ± 9,3	31,6 ± 13,6	37,1 g
397077_16	35,0 ± 7,3	33,4 ± 3,8	34,2 g
Promedio General	56,5 a	54,0 a	55,2

**Cuadro 11: Promedios de la altura de planta de clones de papa con once días de iniciada la sequía**

clon	sequia	riego normal	Promedio
398098_203	96,0 ± 7,0	95,2 ± 13,2	95,6 a
398180_292	95,4 ± 5,9	95,2 ± 3,3	95,3 a
398193_553	85,6 ± 6,0	92,6 ± 9,3	89,1 a b
398203_509	88,8 ± 10,6	88,6 ± 7,2	88,7 a b
398208_58	81,0 ± 9,3	86,0 ± 7,0	83,5 a b c
395195_7	80,6 ± 3,4	77,6 ± 12,5	79,1 b c d
392797_22	77,4 ± 2,8	74,2 ± 7,1	75,8 b c d
394611_112	74,6 ± 5,6	73,8 ± 7,7	74,2 c d e
390663_8	68,4 ± 5,2	68,2 ± 5,0	68,3 d e f
394223_19	64,8 ± 4,9	55,0 ± 29,3	59,9 e f g
392759_1	56,8 ± 4,9	61,0 ± 8,0	58,9 f g
300072_1	64,0 ± 8,6	53,6 ± 12,8	58,8 f g
397077_16	53,6 ± 6,0	54,0 ± 5,5	53,8 g
Promedio General	75,9 a	75,0 a	75,5

**Cuadro 12: Promedios de la altura de planta de clones de papa con treinta y seis días de iniciada la sequía**

clon	sequia	riego normal	Promedio
398203_509	124,6 ± 5,6	137,6 ± 6,1	131,1 a
398098_203	127,0 ± 6,1	133,6 ± 7,9	130,3 a
398193_553	117,0 ± 4,3	137,8 ± 9,2	127,4 a
398180_292	124,8 ± 3,8	127,2 ± 5,0	126,0 a
398208_58	120,8 ± 10,3	128,6 ± 10,3	124,7 a
395195_7	120,0 ± 4,8	127,4 ± 9,0	123,7 a
394611_112	109,2 ± 6,0	126,0 ± 2,0	117,6 a b
392797_22	110,0 ± 6,5	123,8 ± 4,0	116,9 a b c
390663_8	99,2 ± 4,9	110,8 ± 5,2	105,0 b c d
394223_19	103,2 ± 7,3	101,0 ± 34,8	102,1 c d
392759_1	86,4 ± 5,8	102,2 ± 3,6	94,3 d e
300072_1	86,8 ± 3,9	94,4 ± 10,3	90,6 d e
397077_16	64,8 ± 18,6	105,4 ± 8,2	85,1 e
Promedio General	107,2 b	119,7 a	113,4



**Gráfico 5: Alturas de las plantas de los clones de papa**

#### 4.6. BIOMASA FRESCA TOTAL: BFT (g pta<sup>-1</sup>)

De acuerdo al Análisis de Varianza (Anexo 9) para la Biomasa fresca Total se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre clones y entre los tratamientos de riego también. En la interacción de clon x tratamientos de riego también presentaron diferencias estadísticamente significativas.

En el análisis estadístico de Efectos simples de la biomasa fresca Total se observó que los clones tienen efecto únicamente sobre el tratamiento con riego normal. De la misma forma, los tratamientos de riego si afectan o tienen efecto sobre cada planta de todos los clones. Esto podría explicarse por la sensibilidad que tiene la planta de papa, según cada clon, al estrés hídrico (Anexo 9 y Cuadro 13). Ante una sequía es de esperarse que se obtenga menos Biomasa, ya que, hay menos producción de fotosíntesis neta (Pino 2016).

**Cuadro 13: Promedios de biomasa fresca total de clones de papa (g pta<sup>-1</sup>)**

clon	sequia	riego normal	Promedio
398203_509	424,798 ± 19,709	891,812 ± 90,194	658,305 a
398098_203	314,682 ± 92,010	944,010 ± 157,229	629,346 a b
398180_292	300,092 ± 19,547	820,470 ± 128,556	560,281 a b c
392797_22	212,126 ± 19,040	904,270 ± 108,535	558,198 a b c
392759_1	262,522 ± 12,598	851,988 ± 56,128	557,255 a b c
394223_19	346,324 ± 34,908	723,784 ± 336,173	535,054 a b c d
395195_7	310,022 ± 32,182	757,636 ± 126,829	533,829 a b c d
390663_8	298,856 ± 19,028	728,862 ± 73,492	513,859 a b c d
394611_112	238,548 ± 42,319	774,670 ± 84,019	506,609 a b c d
397077_16	266,388 ± 40,333	702,264 ± 117,000	484,326 b c d
398193_553	252,676 ± 49,970	706,394 ± 67,456	479,535 b c d
398208_58	241,478 ± 22,252	632,254 ± 122,860	436,866 c d
300072_1	224,778 ± 17,328	560,514 ± 198,110	392,646 d
Promedio General	284,099 b	769,148 a	526,624

#### 4.7. BIOMASA SECA TOTAL: BDT (g pta<sup>-1</sup>)

De acuerdo al Análisis de Varianza (Anexo 10) para la Biomasa seca Total se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre clones y en tratamientos de riego también. Sin embargo, en la interacción de clon x tratamientos de riego no se presentaron diferencias estadísticamente significativas.

El clon 398098\_203 fue el que presentó mayor promedio de BDT (g pta<sup>-1</sup>) seguido del clon 397077\_16 no diferenciándose significativamente del resto (ver Cuadro 14). Al igual que con Biomasa Fresca Total, los clones con tratamiento de riego normal obtuvieron valores mayores de BDT comparados con los de sequía. Esto es comparable a evaluaciones hechas en papa por Medrano (2012) en Huancayo, donde se obtuvieron valores de Biomasa Seca de 78.33 g en riego normal y de 47.94 g en sequía. Asimismo,

se observa que existe una reducción significativa de la biomasa seca total por efecto de la sequía, tal como lo evidencia Dalla Costa *et al.*, 1997

**Cuadro 14: Promedios de Biomasa Seca Total de clones de papa (g pta<sup>-1</sup>)**

clon	sequia	riego normal	Promedio
398098_203	47,58 ± 7,71	106,52 ± 13,02	77,05 a
392797_22	40,84 ± 4,29	107,11 ± 15,92	73,98 a b
398180_292	48,17 ± 6,34	98,76 ± 17,59	73,47 a b
397077_16	41,27 ± 1,83	104,21 ± 16,36	72,74 a b
395195_7	52,65 ± 6,33	86,72 ± 22,64	69,69 a b
392759_1	45,62 ± 6,48	88,24 ± 18,81	66,93 a b
398193_553	39,35 ± 6,79	88,81 ± 10,56	64,08 a b
394611_112	43,18 ± 9,65	84,20 ± 15,40	63,69 a b
398203_509	41,77 ± 9,02	84,15 ± 17,29	62,96 a b
394223_19	41,82 ± 7,55	82,49 ± 42,79	62,16 a b
390663_8	44,79 ± 3,68	78,82 ± 7,67	61,81 a b
398208_58	39,53 ± 5,99	82,35 ± 23,36	60,94 a b
300072_1	39,93 ± 4,62	62,95 ± 29,49	51,44 b
Promedio General	43,58 b	88,87 a	66,23

#### 4.8. PESO FRESCO DE TUBERCULOS: PFTUB (g pta<sup>-1</sup>)

De acuerdo al Análisis de Varianza (Anexo 11) para el Peso fresco de tubérculos (rendimiento) se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre clones y en tratamientos de riego también. Sin embargo, en la interacción de clon x tratamientos de riego no se presentaron diferencias estadísticamente significativas.

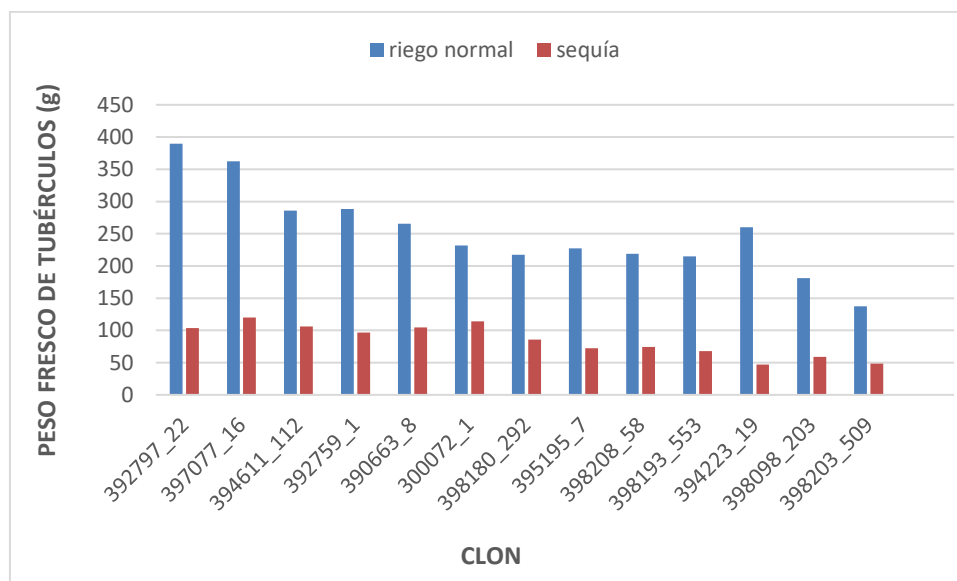
Los clones 392797\_22 y 397077\_16 (ver Cuadro 15 y Gráfico 6) fueron los que más rendimiento (PFTUB) presentaron. Destacando más el clon 397077\_16, ya que, obtuvo un buen rendimiento con una baja transpiración en ambos métodos (lisimétrico e instantáneo) Esto le da una mayor eficiencia en el uso de agua que el resto de los clones o según lo que indica Muñoz (1980) que una planta podría ser tolerante si disminuye en lo mínimo su rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico.

Al igual que con la Biomasa Fresca Total, los clones con tratamiento de riego normal (84,64 g pta<sup>-1</sup>) obtuvieron valores mayores de PFTUB (g pta<sup>-1</sup>) comparados con los de sequía (252,30 g pta<sup>-1</sup>). La sequía afecta de manera similar el número de tubérculos

y la distribución del peso del tubérculo en varias clases de tamaños de tubérculos, con menos tubérculos de tamaños grandes en más condiciones de sequía severa (Aliche *et al.* 2018).

**Cuadro 15: Promedios de Pesos Frescos de tubérculos (g pta<sup>-1</sup>)**

clon	sequia	riego normal	Promedio
392797_22	103,59 ± 9,42	389,41 ± 48,79	246,50 a
397077_16	119,85 ± 5,17	362,28 ± 51,11	241,07 a
394611_112	106,10 ± 25,73	285,73 ± 56,53	195,92 ab
392759_1	96,73 ± 20,16	288,38 ± 85,76	192,56 ab
390663_8	104,81 ± 8,26	265,74 ± 32,25	185,27 ab
300072_1	114,08 ± 17,65	231,63 ± 129,97	172,85 abc
398180_292	85,88 ± 15,38	217,21 ± 79,20	151,55 bc
395195_7	72,55 ± 21,90	227,46 ± 69,69	150,00 bc
398208_58	74,23 ± 12,70	218,73 ± 64,79	146,48 bc
398193_553	67,83 ± 10,84	214,71 ± 46,30	141,27 bc
394223_19	47,20 ± 15,10	259,98 ± 56,47	153,59 bc
398098_203	58,79 ± 24,60	181,18 ± 48,98	119,98 bc
398203_509	48,71 ± 11,52	137,41 ± 64,62	93,06 c
Promedio General	84,64 b	252,30 a	168,47



**Gráfico 6: Rendimiento de plantas de papa de los clones (g pta<sup>-1</sup>)**

#### 4.9. AREA FOLIAR: AF (cm<sup>2</sup>)

De acuerdo al Análisis de Varianza (Anexo 12) para el Área Foliar de las plantas de los clones de papa se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre clones y entre los tratamientos de riego. También, en la interacción de clon x tratamientos de riego se presentaron diferencias estadísticamente significativas.

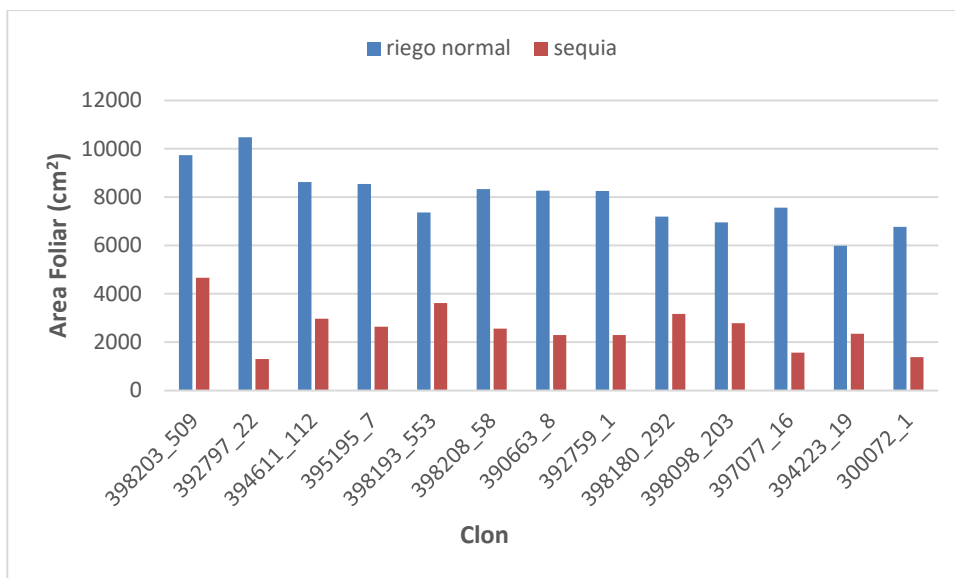
En el análisis estadístico de Efectos simples del Área Foliar de las plantas de los clones de papa se observó que los clones tienen efecto únicamente sobre el tratamiento con sequía. De la misma forma, los tratamientos de riego si afectan o tienen efecto sobre cada planta de todos los clones. Esto podría explicarse según lo encontrado por Jefferies (1989), donde el área foliar decrece por efecto del estrés hídrico.

Se puede observar que el clon 398203\_509 fue el que presentó mayor valor de Área Foliar sin diferenciarse significativamente de los demás clones de papa. Sin embargo, el clon 397077\_16 a pesar de que obtuvo uno de los menores valores de Área Foliar presentó un rendimiento alto (Ver Cuadro 16 y Gráfico 7).

**Cuadro 16: Promedios del Área Foliar (cm<sup>2</sup>) de clones de papa**

clon	sequia	riego normal	Promedio
398203_509	4665,01 ± 281,31	9741,58 ± 1654,52	7203,29 a
392797_22	1304,55 ± 533,01	10483,38 ± 1689,64	5893,96 a b
394611_112	2970,48 ± 3543,94	8623,45 ± 554,46	5796,97 a b
395195_7	2644,62 ± 342,85	8542,64 ± 1194,29	5593,63 a b
398193_553	3622,12 ± 2891,81	7365,96 ± 925,56	5494,04 a b
398208_58	2554,58 ± 327,52	8330,25 ± 1565,33	5442,41 a b
390663_8	2294,03 ± 351,19	8269,23 ± 1088,43	5281,63 a b
392759_1	2298,65 ± 621,51	8249,73 ± 2480,44	5274,19 a b
398180_292	3170,43 ± 171,74	7201,25 ± 2489,62	5185,84 a b
398098_203	2783,10 ± 754,67	6960,78 ± 350,29	4871,94 a b
397077_16	1562,71 ± 356,65	7568,57 ± 1388,05	4565,64 b
394223_19	2346,02 ± 675,10	5992,31 ± 2876,89	4169,16 b
300072_1	1375,82 ± 454,56	6777,71 ± 2787,27	4076,77 b
Promedio General	2584,01 b	8008,22 a	5296,11





**Gráfico 7: Área Foliar de los clones de papa cm<sup>2</sup>**

#### 4.10. CORRELACIONES ENTRE VARIABLES

En la Tabla 1 y Tabla 2 se presenta la matriz de correlación para cada una de las plantas observadas de los clones de papa (n=130) de las variables medidas desde la siembra hasta la cosecha final para la Eficiencia de uso de agua con el Método Totalizador o Lisimétrico muestra una correlación: Inversa Baja con Biomasa seca total ( $r^2 = -0.34^{**}$ ), Inversa media con Biomasa fresca total ( $r^2 = -0.51^{**}$ ), Inversa media con Transpiración Total de los clones ( $r^2 = -0.57^{**}$ ), Inversa baja con Área foliar ( $r^2 = -0.43^{**}$ ), Inversa media con Fotosíntesis neta ( $r^2 = -0.48^{**}$ ).

En la Tabla 1 y Tabla 2 se presenta la matriz de correlación para cada una de las plantas observadas de los clones de papa (n=130) de las variables medidas desde la siembra hasta la cosecha final para la Eficiencia de uso de agua con el Método Instantáneo o con el LI-COR 6400XT muestra una correlación: Inversa baja con Peso fresco de tubérculos ( $r^2 = -0.42^{**}$ ), Inversa media con Biomasa fresca total ( $r^2 = -0.47^{**}$ ), Inversa baja con Biomasa seca total ( $r^2 = -0.40^{**}$ ), Inversa media con Transpiración total de los clones ( $r^2 = -0.45^{**}$ ), Inversa media con Área foliar ( $r^2 = -0.47^{**}$ ), Inversa media con Fotosíntesis neta ( $r^2 = -0.45^{**}$ ).

Además, algunas variables presentan entre ellas correlaciones relevantes para la evaluación de Eficiencia de uso de agua tales como:

Fotosíntesis neta presenta correlaciones Directas medias con: Peso fresco de tubérculos ( $r^2= 0.54^{**}$ ), Biomasa fresca total ( $r^2= 0.62^{**}$ ), Biomasa seca total ( $r^2= 0.48^{**}$ ), y Transpiración total de los clones ( $r^2= 0.54^{**}$ ) y alta con Tasa de transpiración ( $r^2= 0.72^{**}$ ).

Transpiración Total de los clones presenta correlaciones Directas altas con: Peso fresco de tubérculos ( $r^2= 0.81^{**}$ ), Biomasa fresca total ( $r^2= 0.94^{**}$ ), Biomasa seca total ( $r^2= 0.96^{**}$ ) y Área foliar ( $r^2= 0.82^{**}$ ).

**Tabla 1: Matriz de Coeficientes de Correlaciones ( $r^2$ ) de variables fisiológicas y morfológicas de 130 plantas de clones de papa**

	PFTUB	BFT	BDT	TTOT	EUA_LM	AF	EUA_LI-COR	ALT_1DIS	ALT_11DIS	ALT_36DIS	Photo	Trmmol
PFTUB		0.78	0.86	0.81	-0.29	0.75	-0.42	-0.13	-0.06	0.19	0.54	0.34
BFT	0.78		0.91	0.94	-0.51	0.87	-0.47	0.13	0.20	0.48	0.62	0.38
BDT	0.86	0.91		0.96	-0.34	0.82	-0.40	0.16	0.24	0.47	0.48	0.29
TTOT	0.81	0.94	0.96		-0.57	0.82	-0.45	0.20	0.26	0.52	0.54	0.32
EUA_LM	-0.29	-0.51	-0.34	-0.57		-0.43	0.42	-0.07	-0.06	-0.32	-0.48	-0.30
AF	0.75	0.87	0.82	0.82	-0.43		-0.47	0.09	0.15	0.46	0.61	0.39
EUA_LI-COR	-0.42	-0.47	-0.40	-0.45	0.42	-0.47		0.16	0.11	-0.10	-0.45	-0.18
ALT_1DIS	-0.13	0.13	0.16	0.20	-0.07	0.09	0.16		0.97	0.76	-0.27	-0.18
ALT_11DIS	-0.06	0.20	0.24	0.26	-0.06	0.15	0.11	0.97		0.80	-0.22	-0.15
ALT_36DIS	0.19	0.48	0.47	0.52	-0.32	0.46	-0.10	0.76	0.80		0.07	0.04
Photo	0.54	0.62	0.48	0.54	-0.48	0.61	-0.45	-0.27	-0.22	0.07		0.72
Trmmol	0.34	0.38	0.29	0.32	-0.30	0.39	-0.18	-0.18	-0.15	0.04	0.72	

**Tabla 2: Matriz de significancias estadísticas (Pvalue) de los Coeficientes de Correlaciones de variables fisiológicas y morfológicas de 130 plantas de clones de papa**

	PFTUB	BFT	BDT	TTOT	EUA_LM	AF	EUA_LI-COR	ALT_1DIS	ALT_11DIS	ALT_36DIS	Photo	Trmmol
PFTUB		0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.132	0.514	0.027	0.000	0.000
BFT	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.149	0.026	0.000	0.000	0.000
BDT	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.066	0.006	0.000	0.000	0.001
TTOT	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.023	0.003	0.000	0.000	0.000
EUA_LM	0.001	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.415	0.518	0.000	0.000	0.001
AF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.293	0.082	0.000	0.000	0.000
EUA_LI-COR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.063	0.230	0.248	0.000	0.041
ALT_1DIS	0.132	0.149	0.066	0.023	0.415	0.293	0.063		0.000	0.000	0.002	0.043
ALT_11DIS	0.514	0.026	0.006	0.003	0.518	0.082	0.230	0.000		0.000	0.012	0.096
ALT_36DIS	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.248	0.000	0.000		0.410	0.687
Photo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.012	0.410		0.000
Trmmol	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.041	0.043	0.096	0.687	0.000	

## V.CONCLUSIONES

Según los resultados para las variables evaluadas se puede concluir que:

- Se encontró un 40% ( $r^2 = 0.4$ ) de asociación entre los dos Métodos de evaluación de la Eficiencia de Uso de agua de trece clones de papa. Aunque se traten de diferentes escalas de mediciones, al evaluar lo mismo, presentan una correlación. Concluyéndose que un método instantáneo si puede reemplazar a un método totalizador, siempre y cuando las evaluaciones con el Método instantáneo sean varias para que sea representativa de toda la planta como si lo es con el Método totalizador. Ya que éste último es más completo, integrativo y representa mejor un periodo del cultivo.
- Realizada la comparación de la Eficiencia de Uso de Agua entre los 13 clones de papa, se encontró que, tanto con el Método Lisimétrico y el Método Instantáneo, el clon 397077\_16 fue el que presentó una mayor Eficiencia de Uso de Agua. Esto, comprueba que ambos Métodos miden lo mismo.
- Las variables que presentaron una correlación con la Eficiencia de Uso de agua de los 13 clones de papa fueron:

**a)** Con el Método Lisimétrico o Totalizador:

Transpiración Total de las plantas de los clones ( $r^2 = -0.57$ )

Biomasa fresca total de las plantas de los clones ( $r^2 = -0.51$ )

Área foliar ( $r^2 = -0.43$ )

Fotosíntesis neta ( $r^2 = -0.48$ )

**b)** Con el Método Instantáneo o usando el LI-COR 6400XT:

Biomasa fresca total de las plantas de los clones ( $r^2 = -0.47$ )

Fotosíntesis Neta de las plantas de los clones ( $r^2 = -0.45$ )

Transpiración Total de las plantas de los clones ( $r^2 = -0.45$ )

Área foliar ( $r^2 = -0.47$ )

## **VI. RECOMENDACIONES**

A partir de los resultados de la presente investigación se recomienda:

- Realizar experimentos en campo donde se pueda establecer una caracterización de ciertos mecanismos bioquímicos y fisiológicos relacionados con la eficiencia de uso de agua y parámetros como: el contenido relativo de agua, el potencial osmótico, el ajuste osmótico y el contenido de prolina; identificando variedades de papa con tolerancia a la sequía.
- Establecer los protocolos bajo condiciones controladas en Lima-Perú (como cámaras de crecimiento) en las que brinden una mayor estabilidad para la realización de evaluaciones fisiológicas (tales como Fotosíntesis Neta y Tasa de Transpiración) con el Método Instantáneo o LI-COR 6400XT.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Anithakumari, A.M.; Nataraja, K.N.; Visser, R.G.F.; van der Linden, C.G. 2012. Genetic dissection of drought tolerance and recovery potential by quantitative trait locus mapping of a diploid potato population. *Mol Breeding* 30:1413–1429.

Aienl A.; Khetarpal S.; Pal M. 2011. Photosynthetic Characteristics of Potato Cultivars Grown under High Temperature. *American-Eurasian Journal Agric. & Environ. Sci.*, 11 (5): 633-639.

Allen, E.J.; Scott, R.N. 1980. Analysis of growth of the potato crop. *J. Agric. Sci. Camb.* 94: 583-606.

Armas,U.R.; Ortega, D.E.; Rodes, G.R. 1988. *Fisiología Vegetal*. Edit. Pueblo y Educación, La Habana, Cuba. 325 p.

Baker, D.A.; Moorby, J. 1969. The transport of sugar, wáter and ions into developing. *Ann. Bot.* 33: 729-741.

Beadle, C.L.; Ludlow, M.M.; Honeysett, J.L. 1988. Relaciones hídricas en técnicas en fotosíntesis y Bioproductividad, traducido al español por el colegio de postgraduados de Chapingo. México. 44-51.

Beukema, H.P.; Vander Zaag, D.E. 1990. Introduction to the potato production Centre for Agricultural Publishin and Documentation (PUDOC).Wageningen, Netherlands.207p.

Bodlaender K.B.A., van de Waart M.; Marinus J. 1986. Effects of drought on water use, photosynthesis and transpiration of potatoes. 2. Drought, photosynthesis and transpiration. In: Beekman AGB et al. (eds) *Potato Research of Tomorrow*, pp 44-54. Wageningen: Pudoc

Boyer J.S. 1967. Matric potentials of leaves. *Plant Physiology*, 42:213-217.

Calzada Benza, J. 1970. *Métodos Estadísticos para la Investigación*. 3 ed. Lima, Perú. 611 p.

Dalla Costa L.; Delle Vedove G.; Gianquintoi G.; Giovardi R.; Peressotti A. 1997. Yield, water use efficiency and nitrogen uptake in potato: influence of drought stress. *Potato Research* 40: 19-34.

Del Castillo, C. 1995. Comportamiento hídrico y fotosíntesis de variedades de papa amarga y dulce en el Altiplano Central. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia.

Doorembos, J.; Kassam, A. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO. *BoletínTécnico* 33: 127-130.

Egúsquiza, R., Catalán W. 2011. Manejo integrado de papa. Jornada de capacitación UNALM – AGROBANCO, Guía técnica, Curso Taller, Cuzco. Consultado en Mayo

2013, Disponible en

[http://www.agrobanco.com.pe/pdfs/capacitacionesproductores/Papa/MANEJO\\_INTEGRADO\\_DE\\_PAPA.pdf](http://www.agrobanco.com.pe/pdfs/capacitacionesproductores/Papa/MANEJO_INTEGRADO_DE_PAPA.pdf) pp. 47.

Ehleringer, J; Ojorkman, C; Mooney, H. 1976. Leaf pubescens. Effect on absorptance and photosynthesis in a desert shrub. *Science*. 1972. 376-377.

Ekanayaque, I.J. 1989. Studying drought stress and irrigation requirements of potatoes. CIP Research Guide 30. CIP, Lima, Peru. 40p.

Ekanayaque, I.J. 1994. El estrés por sequía y las necesidades de riego de Papa. Guía de Investigación CIP 30. Centro Internacional de la papa, Lima, Perú. 38p.

Ferri, C.P.; Formaggio, A.R.; Schiavinato, M.A. 2004. Narrow band spectral indexes for chlorophyll determination in soybean canopies (*Glycine max* L. Merrill). *Brazilian Journal of Plant Physiology* 16 (3): 131-136.

Fisher, R.; Turner, N. 1978. Plant productivity in the arid and Semi arid zones. *Ann Rev. Plant Physiol* 29: 277-317.

Flexas, J.; Medrano, H.; Hemantaranjan, A. 2002. Photosynthetic responses of C3 plants to drought. *Advances in Plant Physiology* 4: 1-56.

Génova, L. 1986. Relaciones funcionales entre el consumo de agua, área foliar y rendimiento del cultivo de papa. *Ciencia del suelo* 4:1:27-37.

Gonzales, J.A. 1999. Eco-Fisiología y Morfología del estrés debido a factores adversos. Fisiología de la resistencia a sequía en quinua (*Chenopodium quinua* Willd). I Curso Internacional de Proyecto Quinua. Lima, Perú. 3-20.

Guerrero, J.A. 1992. Estudio del déficit hídrico y de fertilización potásica en algunas características morfológicas y en el rendimiento de plantas de papa procedentes de semilla sexual. Tesis Mag. Sc. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina.

Haverkort, A.J. 1982. Manejo del agua en la producción de papa. Centro Internacional de la papa. Boletín Técnico 15: 22 pp.

Holdridge L. 1960. Zonas de vida natural en el Perú. Memoria explicativa sobre el Mapa Ecológico del Perú. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Zona Andina.

INEI, 1996. III Censo Nacional Agropecuario - CENAGRO. Instituto Nacional de Estadística. Lima, Perú.

Jacobsen, SE; Mujica, A. 1997. Mecanismos de resistencia a sequía en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Libro de Resúmenes de Ponencias del Congreso Internacional de Agricultura para Zonas Áridas. Arica, Chile. 68 p.

Jefferies, R.A. 1989. Water-stress and leaf growth in field-grown crops of potato (*Solanum tuberosum* L.). *J. Exp. Bot.*, 40, 1375-81.

- Jianlin, W., Guiruz, Y., Quanaxiao, F., Defeng, J., Hua, Q., and Qiufeng, W. 2008. Responses of water use efficiency of 9 plant species to light and CO<sub>2</sub> and their modeling. *Acta Ecol. Sinica* 28, 525–533.
- Kaminski, K. P.; Korup, K.; Nielsen, K. L.; Liu, F.; Topbjerg, H. B.; Kirk, H. G.; Andersen, M. N. 2014. Gas-exchange, water use efficiency and yield responses of elite potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars to changes in atmospheric carbon dioxide concentration, temperature and relative humidity. *Agricultural and Forest Meteorology* 187: 36-45.
- Kissel, E.; Van Asten, P.; Swennen, R.; Lorenzen, J.; Carpentier, S.C. 2015. Transpiration efficiency versus growth: Exploring the banana biodiversity for drought tolerance. *Scientia Horticulturae* 185:175-182.
- Kramer, P. 1974. Fifty years of progress in water relations research. *Plant Physiology* 54: 463-71.
- Kramer, P. 1969. *Plant and soil relationships: A modern synthesis*. Mc. GrawHill. New York.
- Kramer, P.J. 1989. *Relaciones Hídricas de suelos y plantas. Una síntesis moderna*. Edutex, México.
- Larcher, W. 1995. Photosynthesis as a tool for indicating temperature stress events, *Ecophysiology of Photosynthesis* 100: 261-277.
- Ledent, J.F. 2002. Déficit hídrico y crecimiento de las plantas: Respuestas al déficit hídrico. Comportamiento morfo fisiológico / Modelado del crecimiento de las plantas. Manual. Fundación PROINPA - Centro Internacional de la Papa, CIP - Proyecto “PAPA ANDINA”. 70 p.
- Levitt, C. 1980. *Responses of plants to environmental stresses. Water, radiation, salt, and other stresses. Vol II*. Academic Press.U.S.A.
- Licor Biosciencias. 2012. LI-6400/LI-6400XT Instruction Manual, Using the LI-COR 6400/LI-COR6400XT.Version6, Consultado en setiembre 2017 <http://www.licor.com/env/products/photosynthesis/manuals.html>.
- Lira, S.R. 1994. *Fisiología Vegetal*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- Loomis, R.S.; Connor, D.J. 2002. *Crop Ecology, Productivity and management in agricultural systems*. Cambridge University Press. New York, USA. 591p.
- Lopes, M.S.; Nogues, S.; Molero, G. 2013. Capítulo 8: Intercambio de gases y fluorescencia de la clorofila – principios y aplicaciones. En: Reynolds, M.P.; Pask, A.J.D.; Mullan, D.M.; Chavez-Dulanto, P.N. *Fitomejoramiento fisiológico I: enfoques interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo*. México, DF (México). CIMMYT. 82-96 p.

Mamani Rojas, P.F. 1993. Comportamiento Morfológico y Fisiológico de dos clones de papas sometidos a estrés hídrico por sequía. Tesis Mag. Sc. Lima, Perú, Universidad Agraria la Molina. 75 p.

Martinez, C.H. 1985. Expresiones metabólicas de resistencia a la sequía en dos clones de papa sometidos a estrés hídrico. Tesis Mag. Sc. Lima, Perú, Universidad Agraria la Molina. 141 p.

Medina, A. 1990. El Biol: Fuente de Fitoestimulantes en el desarrollo Agrícola. U.M.S.S. Cochabamba, Bolivia. 19-31p.

Medrano Ricaldi, GM. 2012. Eficiencia de Transpiración en 10 genotipos avanzados de papa (*Solanum tuberosum* L.). Tesis Ing. Agr. Huancayo, Universidad del Centro del Perú. 98 p.

Medrano, H.; Bota, J.; Cifre, J.; Flexas, J.; Ribas-Carbo y Gulias, J. 2007. Eficiencia en el Uso del agua por las plantas. Investigaciones Geográficas 43: 63-84.

MINAGRI. 2003. Plan Estratégico de la Cadena de la Papa. 43 p. Recuperado de <http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/papa/planestrategicopapa.pdf>

MINAGRI. 2019. Plan Nacional de Cultivos (Campaña Agrícola 2018-2019). 293 p. Recuperado de [https://www.agromoquegua.gob.pe/doc/PLAN\\_NACIONAL\\_DE\\_CULTIVOS\\_2018-2019.pdf](https://www.agromoquegua.gob.pe/doc/PLAN_NACIONAL_DE_CULTIVOS_2018-2019.pdf)

Milthorpe, FL; Moorby, J. 1982. Introducción a la Fisiología de los cultivos. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires. Argentina.259p.

MINAG. 2012. Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos - OEEE (Revisado el 31 Noviembre del 2012).

Montgomery, D. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F.

Muñoz, O.A. 1980. Resistencia a la sequía y mejoramiento genético. Ciencia y Desarrollo. 33: 26-35.

Mussell, H.; Staples, R. 1979. Stress Physiology in Crops Plants. U.S.A. Editorial trillas. México. 213p.

Passioura, J.B. 1997. Drought and drought tolerance. Plant Growth Regulation 20: 79-83.

Pino, M.T. 2016. Estrés Hídrico y Térmico en papas, avances y protocolos. Boletín INIA N° 331. 148p.



- Ramos, J.L. 1994. Efecto de la humedad del suelo y la infección de *Nacobbus aberrans* en el comportamiento agro fisiológico de los cultivares Alpha (*S. tuberosum*) y Waych'a (*S. andigena*). Tesis. Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba. Bolivia. 82 p.
- Ray, J.D.; Sinclair, T.R. 1998. The effect of pot size on growth and transpiration of maize and soybean during water deficit stress. *Journal of Experimental Botany*, 49(325): 1381-1386.
- Ray, J.D.; Sinclair, T.R. 1997. Stomatal closure of maize hybrids in response to soil drying. *Crop Science* 37: 803-807.
- Saji Saire, S. 2009. Eficiencia de Transpiración en 10 variedades de papas nativas en la comunidad de Palccoyo-Canchis. Tesis Ing. Agr. Perú, Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco. 162 p.
- Salisbury, F.B.; Ross, C.W. 2000. Fisiología de las plantas. Tomo 2. Bioquímica Vegetal. Editorial Thomson Paraninfo S.A. Madrid, España.
- Scott Johnson, R.; Williams, L.E.; Ayars, J.E. 2005. Weighing lysimeters aid study of water relations in tree and vine crops. *California Agriculture* 59 (2):133-136.
- Silva, F., Laguna, R., Acevedo, M., Ruiz, C., & Orduna, E. 1995. Scintigraphic findings in a Brodie's abscess. *Clinical nuclear medicine*, 20(10): 913-915.
- Silva, H.; Acevedo, E. 1995. Water-use efficiency of ten taxa of *Opuntia* established in the arid Mediterranean region of Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 68: 271-282.
- Sinclair, R. 1983. Water relations of tropical epiphytes: II. Performance during droughting. *Journal of Experimental Botany*, 34(12): 1664-1675.
- Sinclair, T. R.; Ludlow, M. M. 1986. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. *Functional Plant Biology*, 13(3): 329-341.
- Scholander P.F.; Hammel H.T.; Bradstreet E.D.; Hemmingsen E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148:339
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2006. Fisiología Vegetal. 3 Ed, Volumen 1. California. 580 p.
- Tambussi, E.; Graciano, C. 2010. Técnicas de medición de intercambio de gases en plantas: curvas de respuesta de la fotosíntesis a la luz y al CO<sub>2</sub>, Capítulo 8. In: Técnicas de Medición en Ecofisiología Vegetal. M. E. Fernández and J. E. Gyenge (Eds). INTA. Argentina, 109–118.
- Tanner, C.B. 1981. Transpiration efficiency of potato. *Agronomy Journal*, 73(1): 59-64.
- Tanner, C.B.; Sinclair, T.R. 1983. Efficient water use in crop production: research or research? Limitations to efficient water use in crop production, 1-27.

- Tools, J; Chang, T. 1979. Drought resistance in cereals rice: A case study. In: Stress physiology of crops plants. Edit. Por H. Mussell & R. Stalpes. WileyIntersciencie.373-405.
- Tourneux, C.; Peltier, C. 1995. Effect of water deficit on photosynthetic oxigen exchange measured usain  $^{18}\text{O}_2$  and mass spectrometry in solanum tuberosum. L. leaf discs. 1995. Planta. Volumen 195(4): 570-577.
- Turner, N.C.; Mussel, H.; Haples, R.C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crops plants. In stress physiology in crop plants. Eds. John Wiles and Sons, New York.343-372.
- Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8.163-190.
- Versteeg, M.; Haitmah, H.; Benitez, O.; Velasquez, R. 1982. El potencial de rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) en las pampas desérticas del sur del Perú. Eds. Zipari, I; Versteeg, M; Valdivia, H. Arequipa, Perú. 398 p.
- Von Caemmerer, S.V.; Farquhar, G.D. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. Planta, 153(4): 376-387.
- Weisz, R; Kaminski, J; Smilowitz, Z. 1994. Water deficit effects on leaf growth and transpiration: Utilizing fraction extractable soil water for comparison with other crops. American Journal Potato 71: 829-840.
- Werner, H.O. 1954. The Effect of size of tubers and seeds pieces in Western Nebraska dryland potato culture. American Potato Journal. Volumen 31 (1): 19-27.
- Wiebe, H.H. 1966. Matric potential of Sveral plant tissues and biocolloids. Departament of Botany, Utah State University, Logan, Utha. Plant Physiology 42: 133-137.
- Yactayo Gabriel, W.L. 2011. Estudio de la Eficiencia de Uso de Agua de la planta de papa( variedad única) en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de láminas de riego utilizando el riego parcial en condiciones de invernadero. Tesis Ing. Agr. Lima-Perú, Universidad Agraria La Molina. 67 p.
- Yuan, B. Z., Nishiyama, S., and Kang, Y. 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. Agricultural Water Management 63(3): 153-167.

## IX. ANEXOS

**Anexo 1: Datos de los genotipos evaluados**

id	CIP Number	Codigo del mejorador	Accession name	Grupo de la poblacion	Estado Sanitario	Estado para distribución	Pais de origen	Estado biológico del CIP	Parental Femenino	Parental Masculino
1	CIP 720088	B71.240.2	Achirana-INTA		HS2	Inter/Nat	ARG	ImpVariety	MPI 61.375/23	B 25.65=(Atleet x Huinkul MAG)
2	CIP 392797.22	C92.140	UNICA	Cycle 0	HS2	Inter/Nat	CIPHQ	ImpVariety	387521.3	APHRODITE
3	CIP 398193.553			LBHT-1	HS2	ONLY CIP	CIPHQ	AdvBred	393077.54	392633.64
4	CIP 398098.203			LBHT-1	HS2	ONLY CIP	CIPHQ	AdvBred	393371.58	392639.31
5	CIP 300056.33	LR00.014		LTVR	HS2	Inter/Nat	CIPHQ	BredLine	95.071	387170.9
6	CIP 390663.8	C91.628		Cycle 0	HS2	Inter/Nat	CIPHQ	AdvBred	720087=(SERRANA)	386316.14=(XY.14)
7	CIP 397077.16	WA.077/320.16			HS2	Inter/Nat	CIPHQ	BredLine	392025.7=(LR93.221)	392820.1=(C93.154)
8	CIP 398180.292			LBHT-1	HS2	ONLY CIP	CIPHQ	AdvBred	392657.171	392633.64
9	CIP 394611.112				HS2	Inter/Nat	CIPHQ	BredLine	780280=(PW-88-6203)	676008=(I-1039)
10	CIP 395195.7			Cycle 1	HS2	Inter/Nat	CIPHQ	AdvBred	388611.22=(C91.612)	C92.167
11	CIP 398203.509			LBHT-1	HS2	ONLY CIP	CIPHQ	AdvBred	393280.82	392633.64
12	CIP 392740.4	92.065			HS2	Inter/Nat	CIPHQ	BredLine	87055	386614.16=(XY.16)
13	CIP 394223.19	XYTAMBEÑA-19			HS2	Inter/Nat	CIPHQ	BredLine	XY.13	C-282LM87B
14	CIP 300072.1	LR00.022		LTVR	HS2	Inter/Nat	CIPHQ	BredLine	95.139	392820.1=(C93.154)
15	CIP 398208.58			LBHT-1	HS2	ONLY CIP	CIPHQ	AdvBred	393371.58	392633.64
16	CIP 392759.1	92.118			HS2	Inter/Nat	CIPHQ	BredLine	388676.1=(Y84.027)	PENTLAND CROWN

**Continúa...**

id	Codigo CIP	Color predominante de la pulpa	Color secundario de la pulpa	Distribucion del color secundario de la pulpa	Forma de tuberculo	Profundidad de los ojos	Tuber shape unusual	Color predominante de la piel del tuberculo	Intensidad del color predominante del tuberculo	Color secundario de la piel del tubérculo	Distribucion del color secundario de la piel del tubérculo	Periodo vegetativo
1	CIP 300056.33	Crema	Ausente	Ausente	Redondo	Ligeramente profundos	Ausente	Blanco cremoso	-	Rojo	Alrededor de los ojos	Precoz
2	CIP 392797.22	Crema	Ausente	Ausente	Oblongo	Superficial	Ausente	Rojo	-	Ausente	Ausente	Precoz
3	CIP 398098.203	Amarillo claro	Ausente	Ausente	Oblongo	Superficial	Ausente	Blanco cremoso	-	Ausente	Ausente	Precoz
4	CIP 398193.553	Crema	Ausente	Ausente	Oblongo	Superficial	Ausente	Blanco cremoso	-	Rosado	Solamente en los ojos	Precoz
5	CIP 720088	Crema	Ausente	Ausente	Redondo	Superficial	Ausente	Blanco cremoso	-	Ausente	Ausente	Madurez media
6	CIP 390663.8	Blanco	Ausente	Ausente	Oblongo	Superficial	Ausente	Blanco cremoso	-	Ausente	Ausente	Precoz
7	CIP 394611.112	Amarillo	Ausente	Ausente	Oblongo	Ligeramente profundos	Ausente	Rojo	-	Ausente	Ausente	Precoz
8	CIP 395195.7	Blanco	Ausente	Ausente	Oblongo	Ligeramente profundos	Ausente	Blanco cremoso	-	Ausente	Ausente	Precoz
9	CIP 397077.16	Amarillo claro	Ausente	Ausente	Oblongo alargado	Superficial	Ausente	Blanco cremoso	-	Ausente	Ausente	Precoz
10	CIP 398180.292	Crema	Ausente	Ausente	Oblongo	Superficial	Ausente	Blanco cremoso	-	Ausente	Ausente	Precoz
11	CIP 300072.1	Crema	Ausente	Ausente	Oblongo alargado	Superficial	Ausente	Blanco cremoso	-	Ausente	Ausente	Precoz
12	CIP 392740.4	Crema	Ausente	Ausente	Oblongo	Superficial	Ausente	Blanco cremoso	-	Ausente	Ausente	Precoz
13	CIP 394223.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	CIP 398203.509	Amarillo	Ausente	Ausente	Oblongo	Superficial	Ausente	Rojo	-	Ausente	Ausente	Precoz
15	CIP 398208.58	Crema	Ausente	Ausente	Oblongo	Superficial	Ausente	Blanco cremoso	-	Ausente	Ausente	Precoz
16	CIP 392759.1	Blanco	Ausente	Ausente	Oblongo	Ligeramente profundos	Ausente	Blanco cremoso	-	Ausente	Ausente	Precoz

**Anexo 2: Análisis de Varianza de la Eficiencia de Uso de Agua con el método del Lisímetro o Totalizador**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
Clon (C)	12	47.888	3.991	5.51 **
Tratamientos de Riego (T)	1	110.658	110.658	152.7 **
C*T	12	10.142	0.845	1.17 ns
Error	104	75.364	0.725	
Total	129	244.052		
C.V. (%)	10.702			
Promedio General	7.954			

\* Significación al 0.05 de probabilidad

\*\* Significación al 0.01 de probabilidad

### Anexo 3: Análisis de Varianza y Efectos Simples de la Eficiencia de Uso de Agua con el método del LI-COR o Instantáneo

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
Clon (C)	12	18.955	1.579	1.86 ns
Tratamientos de Riego (T)	1	83.053	83.053	97.89 **
C*T	12	26.31	2.193	2.58 **
Error	104	88.236	0.848	
Total	129	216.553		
C.V. (%)	14.175			
Promedio General	6.498			

\* Significación al 0.05 de probabilidad

\*\* Significación al 0.01 de probabilidad

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
C en T1	12	27.469	2.289	2.70 **
C en T2	12	17.797	1.483	1.75 ns
T en C1	1	25.437	25.437	29.98 **
T en C2	1	24.352	24.352	28.70 **
T en C3	1	7.174	7.174	8.46 **
T en C4	1	6.089	6.089	7.18 **
T en C5	1	1.979	1.979	2.33 ns
T en C6	1	1.69	1.69	1.99 ns
T en C7	1	18.956	18.956	22.34 **
T en C8	1	4.702	4.702	5.54 *
T en C9	1	0.286	0.286	0.34 ns
T en C10	1	0.526	0.526	0.62 ns
T en C11	1	6.186	6.186	7.29 **
T en C12	1	8.74	8.74	10.30 **
T en C13	1	3.247	3.247	3.83 ns

\* Significación al 0.05 de probabilidad

\*\* Significación al 0.01 de probabilidad

#### DESCRIPCION

- T1 RIEGO NORMAL
- T2 SEQUIA
- C1 300072\_1
- C2 390663\_8
- C3 39275
- C4 392797\_2
- C5 394223\_1
- C6 394611\_1
- C7 395195\_7
- C8 397077\_1
- C9 398098\_2
- C10 398180\_2
- C11 398193\_5
- C12 398203\_5
- C13 398208\_5

**Anexo 4: Salidas del GraphPad Prism 5 de los Análisis Estadísticos con la Correlación entre el método lisimétrico y el método con el LI-COR 6400XT para evaluar la Eficiencia de Uso de Agua en las plantas de papa**

		Y
1	Number of XY Pairs	130
2	Pearson r	0.3777
3	95% confidence interval	0.2198 to 0.5164
4	P value (two-tailed)	< 0.0001
5	P value summary	***
6	Is the correlation significant? (alpha=0.05)	Yes
7	R square	0.1427

**Anexo 5: Análisis de Varianza de la Transpiración Total de los clones medida con el método del Lisímetro**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
Clon (C)	12	145660332	12138361	4 **
Tratamientos de Riego (T)	1	1867454282	1867454282	614.71 **
C*T	12	67148689	5595724	1.84 ns
Error	104	315947134	3037953	
Total	129	2396210436		
C.V. (%)	19.926			
Promedio General	8747.4			

\* Significación al 0.05 de probabilidad

\*\* Significación al 0.01 de probabilidad

## Anexo 6: Análisis de Varianza de la Tasa de Transpiración medida con el LI-COR

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
Clon (C)	12	37.337	3.111	2.19 *
Tratamientos de Riego (T)	1	67.019	67.019	47.21 **
C*T	12	30.263	2.522	1.78 ns
Error	104	147.624	1.419	
Total	129	282.243		
C.V. (%)	72.57			
Promedio General	1.642			

\* Significación al 0.05 de probabilidad

\*\* Significación al 0.01 de probabilidad



## Anexo 7: Análisis de Varianza y Efectos Simples de la Fotosíntesis Neta

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
Clon (C)	12	586.649	48.887	7.89 **
Tratamientos de Riego (T)	1	2265.76	2265.76	365.74 **
C*T	12	320.462	26.705	4.31 **
Error	104	644.279	6.195	
Total	129	3817.15		
C.V. (%)	28.823			
Promedio General	8.635			

\* Significación al 0.05 de probabilidad

\*\* Significación al 0.01 de probabilidad

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
C en T1	12	664.926	55.410	8.94 **
C en T2	12	242.185	20.182	3.26 **
T en C1	1	199.299	199.299	32.17 **
T en C2	1	372.674	372.674	60.16 **
T en C3	1	127.406	127.406	20.57 **
T en C4	1	150.466	150.466	24.29 **
T en C5	1	301.302	301.302	48.64 **
T en C6	1	236.215	236.215	38.13 **
T en C7	1	383.248	383.248	61.86 **
T en C8	1	119.094	119.094	19.22 **
T en C9	1	347.475	347.475	56.09 **
T en C10	1	33.467	33.467	5.40 *
T en C11	1	39.458	39.458	6.37 *
T en C12	1	252.868	252.868	40.82 **
T en C13	1	23.253	23.253	3.75 ns

\* Significación al 0.05 de probabilidad

\*\* Significación al 0.01 de probabilidad

### DESCRIPCIÓN

T1 RIEGO NORMAL  
T2 SEQUIA  
C1 300072\_1  
C2 390663\_8  
C3 392759\_1  
C4 392797\_2  
C5 394223\_1  
C6 394611\_1  
C7 395195\_7  
C8 397077\_1  
C9 398098\_2  
C10 398180\_2  
C11 398193\_5  
C12 398203\_5  
C13 398208\_5

## Anexo 8: Análisis de Varianza y Efectos Simples de la Altura

Fuente de Variación	GL	CM1	CM2	CM3
Clon (C)	12	1885.61923 **	2128.75897 **	2584.24359 **
Tratamientos de Riego (T)	1	209.42308 ns	27.69231 ns	5046.92308 **
C*T	12	49.13974 ns	63.65897 ns	274.08974 **
Error	104	62.57692	89.78462	100.95385
Total	129			
C.V. (%)		14.33	12.56	8.86
Promedio General		55.22	75.46	113.45

\* significación al 0.05 de probabilidad

\*\* significación al 0.01 de probabilidad

CM1= Cuadrado Medio de la Altura a los 01 días después de iniciada la sequia

CM2= Cuadrado Medio de la Altura a los 11 días después de iniciada la sequia

CM3= Cuadrado Medio de la Altura a los 36 días después de iniciada la sequia

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
C en T1	12	13361	1113	11.03 **
C en T2	12	20939	1745	17.28 **
T en C1	1	144.4	144.4	1.43 ns
T en C2	1	336.4	336.4	3.33 ns
T en C3	1	624.1	624.1	6.18 *
T en C4	1	476.1	476.1	4.72 *
T en C5	1	12.1	12.1	0.12 ns
T en C6	1	705.6	705.6	6.99 **
T en C7	1	136.9	136.9	1.36 ns
T en C8	1	4120.9	4120.9	40.82 **
T en C9	1	108.9	108.9	1.08 ns
T en C10	1	14.4	14.4	0.14 ns
T en C11	1	1081.6	1081.6	10.71 **
T en C12	1	422.5	422.5	4.19 *
T en C13	1	152.1	152.1	1.51 ns

\* significación al 0.05 de probabilidad

\*\* significación al 0.01 de probabilidad

T1 RIEGO NORMAL  
T2 SEQUIA  
C1 300072\_1  
C2 390663\_8  
C3 392759\_1  
C4 392797\_2  
C5 394223\_1  
C6 394611\_1  
C7 395195\_7  
C8 397077\_1  
C9 398098\_2  
C10 398180\_2  
C11 398193\_5  
C12 398203\_5  
C13 398208\_5

## Anexo 9: Análisis de Varianza y Efectos Simples de Biomasa Fresca Total

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
Clon (C)	12	616592.845	51382.737	4.49 **
Tratamientos de Riego (T)	1	7646359.73	7646359.73	668.17 **
C*T	12	3234443.55	26953.629	2.36 *
Error	104	1190145.89	11443.711	
Total	129	9776542.02		
C.V. (%)	20.31			
Promedio General	526.62			

\* Significación al 0.05 de probabilidad

\*\* Significación al 0.01 de probabilidad

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
C en T1	12	739505	61625.000	5.39 **
C en T2	12	200531	16711.000	1.46 ns
T en C1	1	281797	281797	24.62 **
T en C2	1	462263	462263	40.39 **
T en C3	1	868675	868675	75.91 **
T en C4	1	1197658	1197658	104.66 **
T en C5	1	356190	356190	31.13 **
T en C6	1	718567	718567	62.79 **
T en C7	1	500896	500896	43.77 **
T en C8	1	474970	474970	41.5 **
T en C9	1	990134	990134	86.52 **
T en C10	1	676983	676983	59.16 **
T en C11	1	514650	514650	44.97 **
T en C12	1	545255	545255	47.65 **
T en C13	1	381765	381765	33.36 **

\* Significación al 0.05 de probabilidad

\*\* Significación al 0.01 de probabilidad

### DESCRIPCIÓN

- T1 RIEGO NORMAL
- T2 SEQUIA
- C1 300072\_1
- C2 390663\_8
- C3 392759\_1
- C4 392797\_2
- C5 394223\_1
- C6 394611\_1
- C7 395195\_7
- C8 397077\_1
- C9 398098\_2
- C10 398180\_2
- C11 398193\_5
- C12 398203\_5
- C13 398208\_5

### Anexo 10: Análisis de Varianza de Biomasa Seca Total

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
Clon (C)	12	5889.48174	490.79015	2 *
Tratamientos de Riego (T)	1	66680.2416	66680.2416	272.11 **
C*T	12	4484.19522	373.68293	1.52 ns
Error	104	25484.6991	245.0452	
Total	129	102538.618		
C.V. (%)	23.64			
Promedio General	66.225			

\* Significación al 0.05 de probabilidad

\*\* Significación al 0.01 de probabilidad

### Anexo 11: Análisis de Varianza de Peso Fresco de Tubérculos

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
Clon (C)	12	245012.787	20417.7322	6.83 **
Tratamientos de Riego (T)	1	870428.985		291.07 **
C*T	12	83502.846	6958.5705	2.33 ns
Error	104	311002.385	2990.408	
Total	129	1509947		
C.V. (%)	32.85			
Promedio General	166.47			

\* Significación al 0.05 de probabilidad

\*\* Significación al 0.01 de probabilidad

## Anexo 12: Análisis de Varianza y Efectos Simples del Área Foliar

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
Clon (C)	12	78776963.3	6564913.6	2.6 **
Tratamientos de Riego (T)	1	956216751	956216751	378.58 **
C*T	12	62546023.5	5212168.6	2.06 *
Error	104	262686313	2525830	
Total	129	1360228051		
C.V. (%)	30.01			
Promedio General	1539.3			

\* significación al 0.05 de probabilidad

\*\* significación al 0.01 de probabilidad

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fcalc
C en T1	12	89786920	7482243	2.96 **
C en T2	12	51538067	4294839	1.70 ns
T en C1	1	72951136	72951136	28.88 **
T en C2	1	89257705	89257705	35.34 **
T en C3	1	88538508	88538508	35.05 **
T en C4	1	210627227	210627227	83.39 **
T en C5	1	33238555	33238555	13.19 **
T en C6	1	79890203	79890203	31.63 **
T en C7	1	86966606	86966606	34.43 **
T en C8	1	90175964	90175964	35.70 **
T en C9	1	43632576	43632576	17.27 **
T en C10	1	40618718	40618718	16.08 **
T en C11	1	35040789	35040789	13.87 **
T en C12	1	64428844	64428844	25.51 **
T en C13	1	83395949	83395949	33.02 **

T1 RIEGO NORMAL

T2 SEQUIA

C1 300072\_1

C2 390663\_8

C3 392759\_1

C4 392797\_2

C5 394223\_1

C6 394611\_1

C7 395195\_7

C8 397077\_1

C9 398098\_2

C10 398180\_2

C11 398193\_5

C12 398203\_5

C13 398208\_5

\* significación al 0.05 de probabilidad

\*\* significación al 0.01 de probabilidad