



Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y  
Red Académica Iberoamericana Local-Global  
Indexada en IN-Recs (95 de 136), en LATINDEX (33 DE 36), reconocida por el DICE, incorporada a la  
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la  
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.

Vol 10. N° 30  
Octubre 2017  
[www.eumed.net/rev/delos/30](http://www.eumed.net/rev/delos/30)

## DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO XILEMÁTICO PARA OPTIMIZAR EL AGUA EN LA PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN CUCURBITÁCEAS

**Mónica del Rocío Munzón Quintana**<sup>1</sup>  
Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias  
[mmunzon@uagraria.edu.ec](mailto:mmunzon@uagraria.edu.ec)

**Jorge Geovanni Ladines Villamar**<sup>2</sup>  
Universidad Estatal Península Santa Elena, Ecuador  
[Infra\\_agrisa@hotmail.com](mailto:Infra_agrisa@hotmail.com)

**Allan Alberto Alvarado Aguayo**<sup>3</sup>  
Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias  
[aalvarado@uagraria.edu.ec](mailto:aalvarado@uagraria.edu.ec)  
Ecuador

### CONTENIDO

Resumen .....	2
Abstract .....	3
1 Introducción.....	3
1.1 Programación del riego en cucurbitáceas.....	3
1.2 Potencial hídrico en el suelo .....	5
1.3 Potencial hídrico xilemático.....	5
1.4 Determinación del potencial hídrico xilemático .....	6
1.5 Objetivo general .....	7
1.6 Objetivos específicos .....	8
2. Metodología .....	8
2.1 Cálculo de la evapotranspiración (ET <sub>o</sub> ).....	8
2.2 Evapotranspiración del cultivo (ET <sub>c</sub> ) .....	9
2.3 Sistema de riego .....	9
2.4 Propiedades físicas del suelo .....	10
2.5 Sistematización de los datos .....	12

<sup>1</sup> Ingeniera Agrónoma; Magister en Riego y Drenaje; Profesora Titular Auxiliar de la Universidad Agraria del Ecuador, Unidad Académica Programa Regional de Enseñanza El Triunfo

<sup>2</sup> Ingeniero Agrónomo; Magister en Riego y Drenaje; Docente Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador

<sup>3</sup> Ingeniero Agrónomo; Magister en Docencia Superior; Profesor Titular Auxiliar de la Universidad Agraria del Ecuador, Unidad Académica Programa Regional de Enseñanza El Triunfo

3.	Resultados .....	12
4.	Análisis .....	15
5.	Conclusiones y recomendaciones .....	16
5.1	Conclusiones.....	16
5.2	Recomendaciones .....	17
6.	Bibliografía .....	18

### **RESUMEN**

En la actualidad a nivel mundial se habla sobre la optimización de los recursos naturales, el uso de estos para la conservación del ambiente y para mantener la sostenibilidad. Es por eso que, en procesos agrícolas como el riego, el uso del agua debe ajustarse para cumplir las necesidades fisiológicas sin desperdicio. El uso de sistemas presurizados como goteo y micro aspersion son de gran ayuda, pero la cantidad de agua y cuándo regar han sido interrogantes que siempre se han hecho al momento de usar este recurso, llegando a no poder explotar con eficiencia los sistemas de riego y justificar sus altos costos. Algunos factores deben complementarse, como la utilización de estaciones meteorológicas, que ayudan en la determinación de la dosis de agua en los cultivos por medio de parámetros climáticos, y el uso de baterías de tensiómetros que ayudan a determinar la tensión de las moléculas del agua en las partículas del suelo. La capacidad de las moléculas de agua para moverse en un sistema particular depende de su energía libre. La magnitud más empleada para medir dicha energía libre del agua es el potencial hídrico, cuya unidad de uso más corriente es el mega Pascal (MPa=10 bares) aunque también se usa la atmósfera y el bar (1 bar=0,987 atm). La obtención del potencial hídrico xilemático en las hojas de las plantas se realiza con una cámara presurizada denominada “cámara tipo Scholander”, instrumento de medición de fácil utilización ya que consiste en poner una hoja representativa del cultivo dentro de esta cámara para después presurizarla y tomar lecturas en un horario con gran demanda hídrica (12h00). Con estos datos se puede llegar a interpretar en qué condiciones está el cultivo con respecto a su demanda hídrica y decidir el momento oportuno del riego.

**Palabras clave:** Atmósfera - evapotranspiración - lámina de riego - potencial hídrico - presurización - sostenibilidad - xilema

## **ABSTRACT**

At the global level, we are talking about the optimization of natural resources, the use of these resources for the conservation of the environment and to maintain sustainability. That is why, in agricultural processes such as irrigation, the use of water must meet to meet the physiological needs without waste. The use of pressurized systems like dripping and micro sprinkling the son of big help, but the amount of water and the quadruple have been interrogated that have always done at the time of using this resource, becoming unable to exploit with the efficiency of the systems irrigation and justify their high costs. Some factors are complete, such as the use of meteorological stations, which help in the determination of the dose of water in the crops by means of climatic parameters, and the use of batteries of the tensiometers that help to determine the tension of water molecules in soil particles The ability of water molecules to move in a system depends on their free energy. The most widely used magnitude used to measure the free energy of water in the water potential, with the most common unit of use in the mega Pascal (MPa=10 bars) is also used in the atmosphere and in the bar (1 bar=0.987 atm). The obtaining of the xylem water potential in the leaves of the plants is realized with a pressurized chamber called "Scholander chamber", an instrument of measurement of easy use and that consists in putting a representative leaf of the culture inside this chamber to later pressurize it and to take readings in schedule with great water demand (12h00). With these data can reach an interpretation in what conditions is the crop with respect to a water demand and decide the timing of irrigation.

**Keywords:** Atmosphere - evapotranspiration - irrigation sheet - water potential - pressurization - sustainability - xylem

**Clasificación JEL:** C93, Q01, Q25, Y10

## **1 INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Programación del riego en cucurbitáceas**

Las plantas cucurbitáceas, tales como melones, sandías, pepinos, zapallos, y similares, son especies hortícolas cuyos frutos son muy ricos en beta-carotenos, precursores de la vitamina A, también son una importante fuente de vitaminas B y C y minerales, en especial, K, Fe y Mn (Guevara, 2003).

Las cucurbitáceas se caracterizan por ser plantas rastreras, vigorosas, con zarcillos o guías gruesas (ocasionalmente trepadoras), con numerosas ramificaciones. Los tallos y hojas son pubescentes, y las hojas grandes, moderadamente brillantes y de tonos verde-amarillo (Steele, Chandler & Tenge, 2003). No son especies muy exigentes en suelo, aunque los mejores resultados en cuanto a rendimiento y calidad se obtienen en terrenos con altos contenidos de materia orgánica, profundos, aireados y bien drenados (Heredia & Viera, 2002).

En el manejo del riego se trata de obtener los máximos beneficios que el sistema pueda dar a través de un adecuado control de la humedad del suelo, regulando la frecuencia y el tiempo de riego (Boyer, 1995). El tiempo de riego se obtiene de la relación entre las necesidades de agua diarias del cultivo y el caudal entregado por los emisores. Las necesidades hídricas del cultivo se definen por métodos empíricos, que en general, evalúan la evapotranspiración máxima a partir de registros climáticos corregidos por un coeficiente de cultivo (Ferreyra, Selles & Burgos, 1998).

Una adecuada programación de riego debe permitir que el consumo hídrico en la zona radicular del cultivo no afecte negativamente su evapotranspiración, lo que implica conocer la capacidad de almacenamiento y la dinámica del agua en el suelo, así como su disponibilidad para la planta (Fernández, Lorenzo & Cuadrado, 2003).

Las plantas expresan una respuesta fisiológica a los cambios en el balance dinámico del sistema suelo-planta-atmósfera. Las relaciones entre el agua y la planta se expresan por la transpiración, que corresponde a la evaporación del agua desde las hojas hacia la atmósfera. La mayoría del agua transpirada proviene del suelo, de donde es extraída por las raíces según las necesidades que están determinadas por la demanda de la atmósfera (Gallardo, 2003).

El xilema es el tejido encargado de conducir el agua y nutrientes minerales desde las raíces, y repartirlos hacia el resto de los órganos de la planta llegando a las hojas donde se pierde por transpiración a través de los estomas (Vega, 2001). El movimiento de agua en la planta es un proceso pasivo, el agua se mueve desde zonas de mayor a otras de menor potencial hídrico. En el interior de la planta, el potencial hídrico es más elevado en las raíces disminuyendo progresivamente en el tallo, observándose los valores más bajos en las hojas (Naor, 2000).

El estado hídrico de la planta puede ser monitoreado a través del potencial hídrico xilemático (Px), expresado en MPa, este refleja la tensión del agua en los vasos conductores de la planta definiendo el nivel de estrés en que se encuentra, debido a la disponibilidad de agua en el suelo y a la demanda evaporativa de la atmósfera (Fernández, Lorenzo & Cuadrado, 2003). Es el indicador más comúnmente utilizado para definir el estado hídrico de las plantas y se ha propuesto para el manejo y control de riego (Sánchez & Aguirre, 2000); (Steele, Chandler & Tengle, 2003).

Tanto desde el punto de vista del planeamiento de los sistemas de riego como de su operación y mantenimiento, y del manejo agronómico de los cultivos, es importante conocer las características físicas y químicas de los suelos como la textura, densidad aparente, capacidad de retención de humedad, velocidad de infiltración y otros como salinidad, conductividad (Gurovich, 2005).

## **1.2 Potencial hídrico en el suelo**

La mayoría de los cultivos son muy sensibles al régimen hídrico, pudiendo tener graves daños con pequeñas variaciones del régimen (Jones, 2004). El potencial matricial es una medida de la fuerza con la que el suelo retiene el agua; una cantidad suficiente pone el suelo en capacidad de campo coloca el agua a disposición de la planta (Naor, 2000). El potencial matricial se mide en campo con tensiómetros que pueden ser manuales o eléctricos, o con sensores de resistencia eléctrica (Gallardo & Thompson, 2003).

El tensiómetro tradicional consta de una cápsula cerámica porosa fijada a un tubo plástico transparente con el mismo diámetro exterior (aprox. 2.5 cm), con un depósito de agua en la parte superior del tubo y un vacuómetro también ajustado al extremo superior (Gurovich, 2000).

El tensiómetro se llena de agua de tal manera que la columna de agua en su interior forma un flujo continuo con el agua de la solución del suelo en el espacio circundante a través de la cápsula porosa. El potencial matricial del suelo circundante ejerce una succión sobre el agua del tensiómetro, lo que se refleja en la lectura del vacuómetro (Vega, 2001).

El estado hídrico de las plantas se puede describir adecuadamente mediante el potencial hídrico (Sánchez & Aguirre, 2000). Por lo tanto el potencial hídrico permite determinar el nivel de estrés hídrico que puede tener una planta en un momento determinado. De esta manera, el potencial hídrico representa la tensión con que el agua es retenida en el xilema. Esta tensión aumenta durante el día debido al incremento del poder evaporante de la atmósfera para luego disminuir durante la tarde (Gurovich, 2001).

## **1.3 Potencial hídrico xilemático**

El potencial hídrico de la hoja es una medida directa de su estado hídrico y se determina manualmente en campo con una cámara de presión. El sistema de medida se basa en la aplicación de presión sobre el limbo de una hoja que se coloca en el interior de la cámara que la encierra completamente, excepto el pecíolo que sale a través de un orificio; la presión se incrementa lentamente hasta que se observa la aparición de gotas de savia en el corte del pecíolo, en ese momento, la presión aplicada corresponde al potencial hídrico de la hoja (Ferreira & Selles, 2000). Se recomienda tomar las medidas de potencial en hoja al mediodía o antes del amanecer que es cuando los valores son más estables (Gallardo, 2003).

Se define al potencial hídrico xilemático como el potencial químico del agua en un sistema, expresado en unidades de presión, comparado con el potencial químico del agua pura a presión atmosférica y a la misma temperatura y altitud (Azcon & Talon, 2000). El potencial xilemático

corresponde a la tensión con que se encuentra el agua en el xilema de la planta, y se mide en unidades de presión, normalmente en MPa, mega pascales (Selles & Ferreyra, 2005).

Para programar los riegos mediante el uso de técnicas especializadas, es necesario determinar experimentalmente valores umbrales, por debajo de los cuales se empieza a reducir el crecimiento del cultivo y otros parámetros fisiológicos. Así se podrían producir pérdidas de producción o efectos no deseados (Jones, 2004).

Cuando las medidas alcanzan el valor del umbral es cuando se debe regar. Dicho valor de umbral puede cambiar en función del cultivo y su estado de desarrollo, lo cual hace necesario su determinación experimental en cada sistema de cultivo (Gurovich, 2001).

Desde un punto de vista energético, el potencial hídrico corresponde al trabajo que habría que suministrar a una unidad de masa de agua ligada al suelo o algún tejido de la planta, para llevarla de ese estado de unión a un estado de referencia, correspondiente al del agua pura (agua libre) a la misma temperatura y presión atmosférica (Sánchez & Aguirre, 2000).

En términos prácticos, debe entenderse el riego como la integración de la demanda evaporativa de la atmósfera y la disponibilidad de agua en el suelo, explorado por el sistema radical de las plantas (Selles & Ferreyra, 2005)

#### **1.4 Determinación del potencial hídrico xilemático**

Cuando es máximo el desequilibrio entre transpiración y absorción, esta diferencia se hace más amplia al haber un grado de sequía en el suelo (Sánchez & Aguirre, 2000). La evaporación del agua desde las hojas genera la fuerza motriz que hace circular el agua dentro de la planta. El potencial hídrico xilemático expresa el nivel energético del agua en la planta y se mide generalmente, en las hojas; estas deben ser aisladas y cubiertas para detener la pérdida de agua, haciendo que su potencial hídrico se iguale al de la ramilla donde está se inserta (Selles & Ferreyra, 2005).

Sin embargo, su valor como indicador del estado hídrico del cultivo ha sido cuestionado por su variabilidad, dada la influencia de factores micro ambientales, especialmente la exposición a la luz solar directa que presentan las hojas a medir (Fernández, Lorenzo & Cuadrado, 2003).

Naor (2000) señala que el potencial hídrico xilemático a medio día es un indicador más exacto del nivel hídrico de la planta en comparación con el potencial hídrico de la hoja. El potencial hídrico xilemático se mide en hojas asoleadas y maduras, a las cuales se les ha suprimido la influencia de las variables micro ambientales que actúan sobre ella, cubriendo la hoja con plástico y

papel aluminio una hora antes de la medición, de esta forma se evita la transpiración y se equilibra el potencial hídrico de la hoja con el de la ramilla que lo sustenta (Ferreyra & Selles, 2000).

Luego de una hora, se sacan las hojas, se colocan dentro de la cámara y se aplica una presión equivalente a la tensión que se encuentra el agua en el xilema, la savia xilemática aparece entonces por el pecíolo, y se registra el valor que marca el manómetro (Selles & Ferreyra, 2005). El tiempo que transcurre entre el corte de la hoja y la medición no debe ser superior a los dos minutos, ya que a mayor tiempo mayor variación de los resultados (Sánchez & Aguirre, 2000).

El potencial hídrico se mide con una cámara de presión, tipo Scholander que, en términos simples, mide la “presión sanguínea” de la planta. Es un buen instrumento para medir el estado hídrico de la planta (Fernández, Lorenzo & Cuadrado, 2003). Por supuesto, en la planta circula agua en lugar de sangre, y la presión en su interior corresponde a una tensión (presión negativa) producto de la evaporación del agua desde las hojas (Grimes & Willians, 1990). El potencial hídrico xilemático, tiene la ventaja de integrar tanto la demanda evaporativa de la atmósfera, como la humedad de suelo explorado por las raíces (Selles & Ferreyra, 2005).

La principal ventaja de las mediciones basadas en la planta es que permiten realizar la programación de los sistemas de riego, ya que relaciona el estado hídrico de la planta con su crecimiento e indirectamente con las condiciones de suelo y ambiente (Gurovich, 2000). No obstante, la medición del potencial hídrico xilemático en los cultivos solo determina cuando, y no cuanto regar (Ferreyra & Selles, 2000).

Esta investigación es de vital importancia al establecer alternativas para una programación de riego, complementándola con tecnologías ya existentes, como es trabajar con parámetros climatológicos y de suelo, en la búsqueda de la optimización del recurso agua en cualquier explotación agrícola. La determinación del potencial hídrico xilemático como variable para dosificar agua al cultivo y su información casi nula en el país, hacen de la realización de este trabajo una ayuda para la actualización e innovación.

### **1.5 Objetivo general**

Determinar el potencial hídrico xilemático junto con el contenido de humedad del suelo como medio de optimización del recurso agua para la programación del riego, tomando el cultivo de melón (*Cucumis melu*) como referente de las cucurbitáceas.

## 1.6 Objetivos específicos

- Relacionar el potencial hídrico xilemático a otras variables asociadas a la demanda hídrica, tales como las condiciones climáticas y la evapotranspiración
- Evaluar el efecto de la disponibilidad de agua en el suelo con el potencial hídrico xilemático
- Establecer la respuesta agronómica del cultivo en la programación del riego
- Determinar el consumo hídrico del cultivo según la programación a cuantificar

## 2. METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en la finca Iván Silvestre, de la comuna Sube y Baja, perteneciente a la Parroquia Julio Moreno del cantón Santa Elena, provincia Santa Elena, cuyas coordenadas (UTM) son X=560367.02 Y=9757626.40. Se escogió el melón (*Cucumis melo*), entre las cucurbitáceas para el desarrollo del presente estudio, utilizando el híbrido Máximo F1, que lo comercializa la Empresa Importadora Alaska. El distanciamiento de siembra que se implementó fue de 0,55 m entre plantas y 3,00 m entre hileras. La superficie total del ensayo fue de 924 m<sup>2</sup> (46 m<sup>2</sup> de superficie cada parcela) con un total de 560 plantas. Cada parcela experimental constó con un total de 28 plantas.

Se evaluó la respuesta agronómica del cultivo determinando en cada tratamiento el promedio del tamaño (diámetro) y el peso de los frutos, y la eficiencia del consumo hídrico del cultivo. Para el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo se tomó como referencia las recomendaciones de la FAO (2000). Se aplicó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones para cada uno de ellos; los datos fueron obtenidos reponiendo la lámina de agua evaporada diariamente calculada en función de datos obtenidos en el tanque de evaporación tipo A, siendo los porcentajes de reposición los que se describen a continuación.

**Tabla No. 1**  
**Tratamientos y láminas de agua aplicadas a cultivo de melón (*Cucumis melo* L.)**

Tratamientos	Porcentaje de lámina a aplicar
T1	120%
T2	100%
T3	75%
T4	50%

Elaboración: Los Autores

### 2.1 Cálculo de la evapotranspiración (ETo)

Según la FAO (2000), la evapotranspiración puede incluir dos definiciones: evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc).

Debido a la dificultad de obtener mediciones de campo precisas, ETo se calculó con datos meteorológicos, en base al método FAO Penman-Monteith (Díaz, 2006), determinando la ET del cultivo bajo condiciones estándar con los coeficientes de cultivo (Kc) que relacionan la ETc con la ETo.

Siendo significativa la diferencia entre evaporación de una superficie libre de agua y una superficie cultivada, se utilizó además el tanque de evaporación, el cual ha probado su valor práctico y éxito para estimar la evapotranspiración de referencia, observando la pérdida por evaporación de una superficie de agua y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con ETo.

## 2.2 Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración del cultivo se calculó multiplicando ETo por Kc, coeficiente que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia. Poco después de la plantación el valor de Kc es pequeño, con frecuencia menor a 0,4. El valor de Kc comienza a aumentar, a partir de este valor inicial, al comenzar el desarrollo rápido de la planta y alcanzar su valor máximo, Kc medido, al momento del desarrollo máximo de la planta. A medida que las hojas comienzan a envejecer o se produce la senescencia, el valor de Kc comienza a disminuir hasta alcanzar un valor mínimo, Kc final.

Se consideraron los valores de Kc para melón recomendados por la FAO, para ser utilizados en la fórmula Penman-Monteith, tal como se muestra en la tabla 2:

**Tabla No. 2**  
**Valores de coeficiente Kc para melón recomendados por la FAO**

<b>CULTIVO: Melón (<i>Cucumis melo</i> L.)</b>		
ETAPA	Kc	DÍAS
Inicial	0,5	0-25
Media	0,85	26-50
Final	0,60	61-70

Fuente: Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2000

## 2.3 Sistema de riego

El sistema de riego con que se trabajó en el ensayo fue el localizado de alta frecuencia (goteo), en donde se seleccionó el gotero Hidrodrip de Plastro, integrado en laterales de 17,6 mm de diámetro interno con caudal de 2,2 l/h bajo presión de operación de 1,5 bar. El distanciamiento entre goteros fue 0,4 m, la longitud de cada lateral 22 m, la tubería secundaria con laterales 63 mm diámetro, regulando su caudal con una válvula de paso de 3", y el caudal del sistema en general 85 m<sup>3</sup>/h.

Los caudales en cada lateral fueron regulados o interrumpidos con una válvula de paso instalada en cada una de las salidas para cada tratamiento.

#### **2.4 Propiedades físicas del suelo**

Se determinaron propiedades físicas del suelo a partir de la recolección de muestras representativas en el terreno y fueron llevadas para su respectivo análisis al Laboratorio GeoCimientos S.A., y la determinación de otras propiedades transcendentales se determinó en campo.

La textura del suelo (TX) se determinó en base al sistema usado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), tomando en consideración tres sustratos, los horizontes fueron tomados en función de la profundidad radicular del cultivo a evaluar (melón): horizonte A de 0 a 0,30 m (textura arcillo limosa), horizonte B de 0,31 a 0,60 m (textura arcillosa) y horizonte C de 0,61 a 0,90 m (textura franca arcillosa).

La densidad aparente (DAp) fue obtenida para cada horizonte dividiendo el peso seco del suelo entre el volumen total. En el horizonte A, el valor obtenido fue 1,3 g/cm<sup>3</sup>, en el horizonte B 1,25 g/cm<sup>3</sup> y en el horizonte C 1,35 g/cm<sup>3</sup>, utilizando la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{Pss}{Vts}$$

Donde:

Da = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)  
P ss = Peso suelo seco (g)  
V ts = Volumen total (cm<sup>3</sup>)

La densidad real (Dr), definida como la relación entre el peso de un suelo seco (Pss) y el volumen real de sus partículas (Vp). En los horizontes A, B y C se obtuvo como valor 2,65 g/cm<sup>3</sup>, utilizando la siguiente ecuación:

$$Dr = \frac{Pss}{Vp}$$

Donde:

Dr = densidad real (g/cm<sup>3</sup>)  
Pss = Peso del suelo seco (g)  
Vp= Volumen de las partículas (cm<sup>3</sup>)

La porosidad (P) se obtienen a partir de los valores de densidad real y densidad aparente; estos valores según equivalen al contenido volumétrico del agua a 0 m.c.a de succión, expresando en términos porcentuales del volumen total (%Pt), En el horizonte A el valor obtenido fue 51%, en el horizonte B 53% y en el horizonte C 49%, dados por la siguiente ecuación:

$$\%Pt = 1 - \frac{Da}{Dr} * 100$$

Donde:

%Pt = porosidad total  
Da = densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)  
Dr = densidad real (g/cm<sup>3</sup>)

La infiltración básica (Ib) se determinó con el método de infiltómetro utilizando un doble cilindro con 0,40 m de alto y 0,35 m de diámetro, escogiendo un sitio característico y limpio de maleza y desechos como ramas, rocas etc. Su determinación dio un valor de 4,83 mm/h obtenido con la ecuación de Kostatiakov-Lewis:

$$I = k * t^{-n}$$

Donde

I = Velocidad de Infiltración (mm/h)  
t = Tiempo (min)  
k = Parámetro de velocidad de infiltración (t=1)  
n = Parámetro en que se reduce la infiltración con el tiempo

La capacidad de campo (CC) se estimó en un periodo de tiempo 48 horas cuando, después de haber sido saturado, el suelo ha drenado el agua. Para su cálculo se tomó la muestra del horizonte A (peso de muestra fresca: 856 g, peso de muestra seca: 620 g) y dividiendo el peso de agua para el peso del suelo seco, empleando la siguiente fórmula:

$$CC = \frac{Psh - Pss}{Pss} * 100$$

Donde:

CC = Capacidad de campo, o contenido gravimétrico de humedad en el suelo  
Psh = Peso de la muestra de suelo húmedo sometido a -0,33 bares de tensión.  
Pss = Peso de la muestra de suelo secada hasta peso constante a 105 °C.

Aplicando la fórmula se obtuvo CC = 38% en el horizonte A, CC = 30% en el B y 24% en el C.

El punto de marchitez permanente (PMP) fue determinado en base a los valores obtenidos de CC, utilizando la siguiente ecuación:

$$PMP = CC * 0,74 - 5$$

Realizados los cálculos se obtuvo en el horizonte A PMP = 23%, en el horizonte B PMP = 17% y en el horizonte C PMP = 13%.

Con los valores obtenidos de CC y PM se determinó la humedad aprovechable en términos de una altura de agua. Se recurrió a la siguiente expresión:

$$HA = (CC - PMP) * Da * P * 1P * \frac{-1}{pH2O}$$

Donde:

- HA = Altura de agua aprovechable para el cultivo (cm)  
 CC = Capacidad de campo (Retención de energía entre 1/10 y 1/3 de bar)  
 PMP = Punto de marchitez permanente (Retención de energía entre 10 y 15 bar)  
 Dap = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)  
 P = Profundidad de la muestra representativa del suelo (cm)  
 1P = Contenido granulométrico del perfil, magnitud adimensional que se expresa en %.  
 ρH<sub>2</sub>O = Densidad del agua en g/cm<sup>3</sup> (generalmente se asume como 1 g/cm<sup>3</sup>)

Aplicada la fórmula se obtuvo que el valor de agua aprovechable para la planta en el horizonte A fue 56,2 mm, esto quiere decir que en los 30 cm de profundidad del horizonte hay 56,2 litros de agua disponible o 562 m<sup>3</sup>/ha. El agua aprovechable para el resto de los horizontes es: B = 46,8 mm (47 litros de agua en 30 cm) y C = 46.2 mm (46 litros de agua en 30 cm).

## 2.5 Sistematización de los datos

Para el análisis se recopilaron los datos *in situ*, donde se determinó el potencial hídrico xilemático a través de la utilización de una cámara de presión tipo Scholander. La frecuencia de medición fue tres veces por semana, al igual que fueron recopilados los datos de tensión de la molécula de agua en la partícula de suelo por parte de baterías de tensiómetro.

Para la obtención del potencial hídrico xilemático se eligió una hoja sana y expuesta directamente al sol de cada parcela. La toma de estos datos se realizó desde la aparición de las primeras hojas verdaderas del cultivo y el horario establecido para esta actividad fue al medio día (12h00). Las lecturas de los tensiómetros fueron obtenidas también tres veces por semana, antes y después de cada riego.

## 3. RESULTADOS

En este análisis de correlación para cada tratamiento se evaluó la tensión de la molécula de agua en el suelo y la hoja utilizando el software SPSS Statistics y la correlación de Pearson. Se trabajó con un nivel de significancia del 5% (0,05) y la estimación del p-valor. Los valores promedios se describen en las tablas 3 y 4:

**Tabla No. 3**  
**Tensión de la molécula del agua en el suelo y tensión de la molécula del agua en la hoja de *Cucumis melo* L.**

Tratamiento	Repeticiones	Tensión Suelo (bar)	Tensión Hoja (bar)
T1	R1	40,13	11,23
	R2	40,13	11,25
	R3	40,63	11,27
	R4	40,13	11,29
	R5	40,13	11,31

Tratamiento	Repeticiones	Tensión Suelo (bar)	Tensión Hoja (bar)
T2	R1	53,63	12,73
	R2	53,17	12,75
	R3	55,92	12,77
	R4	54,29	12,79
	R5	54,53	12,81
T3	R1	69,11	17,72
	R2	69,21	17,76
	R3	69,74	17,81
	R4	69,21	17,85
	R5	69,21	17,89
T4	R1	78,97	16,47
	R2	72,53	16,49
	R3	72,61	16,51
	R4	72,69	16,53
	R5	72,78	16,55

Elaboración: Los Autores

**Tabla No. 4**

**Correlación de Pearson entre la tensión de la molécula del agua en el suelo y la tensión de la molécula del agua en la hoja de *Cucumis melo* L.**

Correlación	Tensión Suelo (bar)	Tensión Hoja (bar)
Tensión suelo (bar)	1	0,934"
Correlación de Pearson		
N	20	20
Tensión suelo (bar)	0,934"	1
Correlación de Pearson		
Sig. (bilateral)	0.000	
N	20	20

Elaboración: Los Autores

Analizando los valores entre la tensión del suelo y la tensión de la hoja tenemos que el índice de correlación es de 0,934. El software marca con dos asteriscos (0,934") cuando el p-valor se encuentra por debajo del 0,05 (5%) que es el valor que se ha adoptado como nivel de significancia. Sin embargo, este tiene un valor muy inferior a 0,01 (1%) por lo cual entre las variables cuantitativas que se evaluaron existe una correlación y puede ser ubicada en función del cuadro de clasificación como "Muy Buena Correlación" (tabla 5).

**Tabla No. 5**

**Clasificación de los índices del coeficiente de correlación de Pearson**

Índices R - Rho	Interpretación	Índice
0,00 - 0,20	Ínfima Correlación	
0,21-0,40	Escasa Correlación	
0,41-0,60	Moderada Correlación	
0,61-0,80	Buena Correlación	
0,81 - 1,00	Muy Buena Correlación	0,934

Fuente: Karl Pearson, 1900

Se establecieron dos variables cuantitativas que derivan de la respuesta agronómica del cultivo, esto es para el diámetro del fruto y del peso del mismo. Para cada uno de los tratamientos y repeticiones se determinó una media que se detalla en las tablas 6, 7 y 8:

**Tabla No. 6**  
Diámetro y peso del fruto de *Cucumis melo* L. bajo diferentes láminas de agua

Tratamiento	Repeticiones	Diámetro (cm)	Peso (Kg)
T1	R1	20,18	2,09
	R2	19,99	2,12
	R3	20,02	2,05
	R4	20,03	2,15
	R5	19,82	2,20
T2	R1	19,15	1,98
	R2	18,63	1,99
	R3	19,02	2,05
	R4	19,09	1,94
	R5	18,93	2,05
T3	R1	16,13	1,72
	R2	16,08	1,70
	R3	16,26	1,72
	R4	16,46	1,75
	R5	16,37	1,71
T4	R1	13,21	0,90
	R2	12,50	0,78
	R3	12,14	0,65
	R4	12,06	0,60
	R5	12,45	0,58

Elaboración: Los Autores

**Tabla No. 7**  
Media aritmética del diámetro del fruto (cm) de *Cucumis melo* L. bajo diferentes láminas de agua

Repeticiones	T1	T2	T3	T4
R1	20,18	19,15	16,13	13,21
R2	19,99	18,63	16,08	12,50
R3	20,02	19,02	16,26	12,14
R4	20,03	19,09	16,46	12,06
R5	19,82	18,93	16,37	12,45
<b>Media aritmética</b>	<b>20,01</b>	<b>18,96</b>	<b>16,26</b>	<b>12,47</b>

Elaboración: Los Autores

**Tabla No. 8**  
Media aritmética del peso del fruto (kg) de *Cucumis melo* L. bajo diferentes láminas de agua

Repeticiones	T1	T2	T3	T4
R1	2,09	1,98	1,72	0,90
R2	2,12	1,99	1,70	0,78
R3	2,05	2,05	1,72	0,65
R4	2,15	1,94	1,75	0,60
R5	2,20	2,05	1,71	0,58
<b>Media aritmética</b>	<b>2,12</b>	<b>2,00</b>	<b>1,72</b>	<b>0,70</b>

Elaboración: Los Autores

#### **4. ANÁLISIS**

Los resultados obtenidos en esta investigación están ligados netamente a los análisis estadísticos realizados para las diferentes variables de tipo cuantitativo, esto es para el análisis de correlación entre la tensión de la molécula del agua a la partícula del suelo y de la respuesta agronómica del cultivo, la determinación del diámetro de fruto y peso del fruto.

Dentro del análisis de correlación entre las variables tensión de la molécula del agua al suelo y la tensión de la molécula el agua a la hoja, se obtiene un índice de correlación muy por debajo de p-valor establecido, este es 5% valor estadísticamente significativo, lo que sugiere tomar la decisión de que si existe una correlación entre estas variables.

¿Qué tipo o cuánta importancia tiene este valor para poder interpretar estos resultados? Dentro de una escala establecida se obtiene un valor de correlación de Pearson de 0,934 muy cercano a 1. Esto quiere decir que la correlación es muy significativa.

Otro aspecto constituyen los resultados obtenidos entre las variables diámetro y peso de fruto utilizando un valor de significancia estadística del 5% de diferencia entre los grupos o tratamientos estudiados. Realizando el análisis para la variable diámetro de fruto se estableció la hipótesis nula de que al menos un par de grupos tiene una diferencia marcada significativa, para cada uno de los tratamientos. Los resultados indicaron que todos los pares de grupos a los que se sometieron el análisis llegan a tener una diferencia estadísticamente significativa. El valor de la Diferencia Honestamente Significativa (HDS) fue de 0,48 no llegando en ningún momento a ser menores la diferencia de las medias aritméticas de los grupos o tratamientos.

A continuación, se detallan los resultados y comparación entre las parejas de los tratamientos estudiados.

Entre los tratamientos T1 y T2 se obtiene una diferencia entre las medias aritméticas de estos dos grupos de 1,04 que es un valor superior al HSD (0,48), por lo que sí existe una diferencia significativa entre estos dos grupos. Entre los tratamientos T1 y T3 se obtiene una diferencia de la media aritmética de estos dos tratamientos de 3,74; este valor es muy superior a la HSD, por lo que se determina que sí existe una diferencia significativa. Entre los tratamientos T1 y T4 se obtuvo una diferencia de las medias aritméticas de los dos grupos de 7,53 cuyo valor está por encima de la HSD, por lo que también existe una diferencia estadísticamente significativa.

Entre los grupos de tratamiento T2 y T3 la diferencia de las medias aritméticas entre estos dos grupos es de 2,7; este valor también es mayor a la HSD, lo que significa que se manifiesta la

diferencia estadísticamente significativa. Para los tratamientos T2 y T4 la diferencia de sus medias aritméticas es de 6,49 por lo que también existe una diferencia significativa entre estos dos grupos.

La media aritmética entre los grupos estudiados para los tratamientos T3 y T4 el resultado fue de 3,79 valor muy por encima del HSD, lo cual indica que sí existe una diferencia estadísticamente significativa.

Con respecto al análisis entre la variable peso del fruto se estableció un criterio igual para el análisis del diámetro obtenido, una significancia estadística del 5% para el análisis, el HSD para esta prueba arrojó un valor de 0,14 siendo solo la pareja entre los tratamientos 1 y 2 que no tiene ninguna diferencia estadísticamente significativa. El resto de parejas de los tratamientos sí mostraron una diferencia significativa.

Para los tratamientos T1 y T2 la diferencia entre los promedios de estos dos grupos es de 0,12 cuyo valor que es inferior a la HSD (0,14), por lo que al ser de menor valor significa que no se establece una diferencia estadísticamente significativa. Entre los grupos T1 y T3 la diferencia entre estos dos grupos es de 0,40 cuyo valor que es superior a HSD, por lo que sí se establece una diferencia estadísticamente significativa. Entre los tratamientos T1 y T4 la diferencia de sus medias aritméticas es de 1,42 que es superior a la HSD, por lo que también existe una diferencia estadísticamente significativa.

Para el grupo entre los tratamientos T2 y T3, su diferencia entre los promedios es de 0,28 por lo que es superior a la HSD existiendo una diferencia significativa. Entre los tratamientos T2 y T4 la diferencia entre sus medias aritméticas es 1,30 siendo superior a la HSD, ocurriendo también una diferencia significativa.

Entre los tratamientos T3 y T4 la media aritmética es de 1,01 siendo también muy superior a la HSD manifestándose en este grupo una diferencia también significativa.

Solo en el grupo de los tratamientos T1 y T2 no existe una diferencia significativa, estadísticamente hablando, mientras que en el análisis de los demás grupos se manifiesta una tendencia marcada a la diferencia significativa.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

El valor obtenido en el análisis de correlación entre las variables de tipo cuantitativo respecto a la tensión de la molécula del agua retenida en la partícula del suelo arrojó un resultado en donde

manifiesta una significancia marcada, estadísticamente hablando, con respecto al aumento o disminución de la tensión de la molécula del agua adherida a las estomas de la hoja. Estos valores que se dieron para el desprendimiento de molécula de agua mediante la utilización de la bomba Scholander aumentaron o disminuyeron con respecto a la aplicación de agua mediante el riego. En el tratamiento 1 (T1) en donde se aplica un 20% más de agua, en función de la lámina calculada, la tensión arroja valores de tensión mucho menores que en el tratamiento 4 (T4) donde se aplica un 50 % menos de la lámina calculada.

La tensión de la molécula del agua está retenida con mayor fuerza, de igual manera en el tratamiento 1 (T1). Para el desprendimiento de la molécula del agua del estoma se utiliza una menor fuerza si se compara con la presión que se requiere en el tratamiento 4(T4) en donde se aplicó un 50 % menos de agua; se requiere mayor presión para el desprendimiento de la molécula de agua del estoma.

Así mismo, la evaluación de la respuesta agronómica del cultivo determinó para cada una de las parejas evaluadas, y para cada una de las variables, valores significativos excepto en el peso de fruto. Entre los tratamientos 1 y 2 prácticamente se obtuvieron los mismos pesos aplicando un 20% más de la lámina del agua calculada en T1 y el 100% en el T2. Pero sí se marcaron valores significativos con respecto a las demás parejas de tratamientos, afectando al peso y al diámetro de la fruta significativamente.

La demanda hídrica general del cultivo o de la parcela en donde se realizó el ensayo fue de 1760,44 m<sup>3</sup>.

## **5.2 Recomendaciones**

Las variables evaluadas en cada uno de los tratamientos y la respuesta agronómica del cultivo con respecto al peso y diámetro de fruto inducen a realizar las siguientes recomendaciones:

Se puede determinar una demanda hídrica del cultivo si los valores de tensión del agua en el estoma de la hoja son valores superiores a los 17 bar, ya que al aplicar menos agua al suelo la planta retiene con mayor fuerza el agua en el estoma.

Si bien es cierto, los valores de retención de agua aumentan al disminuir la aplicación de agua, no se puede determinar una cantidad de agua a aplicar.

Aplicar una lámina de agua calculada en función de la evaporación potencial utilizando una tina de evaporación estándar es un mecanismo sencillo y óptimo para los cálculos de demanda hídrica.

La aplicación de una lámina calculada y su aumento en un 50% no incide en el peso del fruto, ya que al hacer una comparación estadística no es significativa por lo que se recomienda trabajar con la aplicación de agua calculada, o sea un 100%. No se deben aplicar valores menores a la lámina calculada, ya que esto sí incide significativamente en el peso del fruto. En definitiva, aplicar una lámina calculada sin disminuir o aumentar su cantidad es lo más recomendable para obtener pesos óptimos en los frutos cosechados.

Se recomienda aplicar agua a tensiones altas sin que estas indiquen el tiempo o duración del turno.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- Azcon, J. & Talon, M. 2000. *Fisiología y Química Vegetal*. Madrid - España: Interamericana Mac Graw-Hill.
- Boyer, J. 1995. *Measuring the water status of plant soil*. San Diego - California: Academic Press.
- Díaz, José. 2006. *La fórmula de Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de referencia, ETo*. Caracas. Universidad Central de Venezuela.
- Fernández, M., Lorenzo, P. & Cuadrado, I. 2003. *Mejora en la eficiencia del uso del agua en cultivos protegidos*. Santiago de Chile: Varios Cúspide.
- Ferreira, R., Selles, G. & Burgos, L. 1998. *Frutales. Riego deficitario controlado*. Santiago de Chile: INIA Nº 70.
- Ferreira, E. & Selles, G. 2000. *Manejo del riego en condiciones de restricción hídrica*. Santiago de Chile: INIA.
- Gallardo, M. 2003. *Mejora en la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos*. Armenia-España: Dirección General de Investigación de Formación Agraria de la Junta de Andalucía.
- Gallardo, M., y R. Thompson. 2003. *Uso de los sensores de plantas para la programación del riego*. Madrid - España. *Ganadería: Enciclopedia de Agricultura*.
- Grimes, D. & Willians, W. 1990. *Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson Seddles Grape vines*. California: Crop Science.
- Guevara, Lorena. 2003. *Proyecto de factibilidad para la exportación de melón en estado natural*. Colombia: UTE.
- Gurovich, L. 2000. *Fundamento y diseño de sistemas de riego*. San José de Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- . 2001. *Riego superficial tecnificado, un libro para la Agricultura*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- . 2005. *Fundamentos para diseño sistema de riego*. San Diego-California.
- Heredia, M. & Viera, J. 2002. *El cultivo de melón*. Bogotá.
- Jones, H. 2004. *Irrigation Scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods*. California: *Journal of Experimental Botany*.
- Naor, A. 2000. *Midday stem water potential as a plant water stress*. California: III International Symposium on Irrigation Crops.
- Sánchez, M. & Aguirre-Olea, J. 2000. *Relaciones hídricas*. Madrid-España: Interamericana Mac Graw-Hill.
- Selles, G. & Ferreira, E. 2005. *Criterios para controlar el riego en uva de mesa*. Santiago de Chile: INIA, 2005.
- Steele, J., Chandler, M. & Tengle, G. 2003. *Competition and control of melon*. California: *Weed Science*.
- Vega, P. 2001. *Riego Superficial. Efectos de cuatro niveles de reposición hídrica pos pinta sobre variables fisiológicas, componentes del rendimiento. Crecimiento en calidad de bayas en Vitis vinifera*. Chile. Escuela de Agronomía: Universidad de Talca.