

---

## Evaluación del contenido de humedad de un suelo vertisol compactado mediante sensor watermark en una plantación de *Cedrela odorata* L. en el Valle del Yaqui, Sonora.

O.A. Villaseñor-López<sup>1\*</sup>, J.A. Fernández Bocardo<sup>1</sup>, Y. García-Quintana<sup>2</sup> y L. Argente Martínez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Sonora. Calle 5 de Febrero 818 Sur. Col. Centro. Cd. Obregón, Sonora, México.

<sup>2</sup>Universidad Pinar del Río. Calle Martí final 270 esq. 27 de Noviembre. Pinar del Río, Cuba.

<sup>3</sup>Universidad de Granma. Km 17 ½ Carretera a Manzanillo, Bayamo, Cuba.

---

*Evaluation of the moisture content of a compacted vertisol soil by watermark sensor in a plantation of Cedrela odorata L. in the Yaqui Valley, Sonora.*

### Abstract

The research was carried out in a compacted vertisol soil corresponding to the Experimental Center for Technology Transfer of the Technological Institute of Sonora, Yaqui Valley, Sonora, Mexico, with the objective of evaluating soil moisture through a watermark sensor in a plantation of *Cedrela odorata* L. subjected to four dose and frequency of irrigation (96 liters of water every ten days, June 2010; 192 liters of water every ten days, July 2010; 192 liters of water every seven days, August, October and November 2010 and 192 liters of water every three days, August 2011). The measures of soil moisture were fluctuating in the different assessment periods, which correspond with the provision of irrigation, the rainfall and temperatures. It was demonstrated that for values below 15 cB, the soil is saturated by achieving the necessary field capacity through which the species *Cedrela odorata* L. meets their water needs. We obtained a high relationship between the variables deficit of steam pressure (DPV) and temperature. The evapotranspiration values allowed us to estimate the volume of water consumed by the species *Cedrela odorata* L. in compacted vertisol soil.

*Key words:* watermark sensor, cedro, soil saturation, evapotranspiration.

### Resumen

La investigación se realizó en un suelo vertisol compactado correspondiente al Centro Experimental de Transferencia de Tecnología del Instituto Tecnológico de Sonora, Valle del Yaqui, Sonora, México, con el objetivo de evaluar la humedad del suelo a través del sensor watermark en una plantación de *Cedrela odorata* L. sometida a cuatro dosis y frecuencias de riego (96 litros de agua cada diez días, junio 2010; 192 litros de agua cada diez días, julio 2010; 192 litros de agua cada siete días, agosto, octubre y noviembre 2010 y 192 litros de agua cada tres días, agosto 2011). Las medidas de humedad del suelo resultaron fluctuantes en los diferentes períodos de evaluación, los cuales se corresponden con el suministro de riego, las precipitaciones y temperaturas. Se demostró que para valores por debajo de los 15 cB, el suelo se satura logrando la capacidad de campo necesaria mediante el cual la especie *Cedrela odorata* satisface sus necesidades hídricas. Se obtuvo alta correlación entre las variables déficit de presión de vapor (DPV) y la temperatura. Los valores de evapotranspiración permitieron estimar el volumen de agua consumido por la especie *Cedrela odorata* L. en las condiciones de suelo vertisol compactado.

---

\*Autores de correspondencia

Tel. (52) 644 410 9009 Ext. 110. E-mail address: ovidio.villaseñor@itson.edu.mx

*Palabras clave:* sensor watermark, cedro, saturación del suelo, evapotranspiración.

## Introducción

Uno de los factores limitantes del crecimiento y estabilidad de la vegetación es el agua, de forma que el mejor comportamiento de la planta, en cuanto a su supervivencia y desarrollo, habitualmente está ligado a una mayor disponibilidad de agua útil (De Simón, 1990). Esta disponibilidad de recursos hídricos viene determinada por el contenido de agua en el suelo. De ahí la importancia de evaluar el contenido de humedad en suelos donde se establecen plantaciones forestales ya que permite determinar el momento más efectivo del riego (Jiménez *et al.*, 2004).

Ripoll (2004), refiere que la aplicación de riego en el momento exacto y en la cantidad apropiada es fundamental para obtener un buen rendimiento de los cultivos. El exceso de agua reduce el crecimiento debido al arrastre de los nutrientes en el suelo hasta horizontes más profundos (Bonilla y Cancino, 2001), al mismo tiempo propicia un incremento de los procesos de reducción de cationes y aniones, cuestión que conlleva en la mayoría de los casos a la toxicidad (Gispert *et al.*, 1983) al desplazar el aire contenido en el suelo (Vélez, 2004). Estos eventos limitan el desarrollo de las especies forestales, pudiendo causar daños irreversibles y pérdidas de plantaciones (Bulfe y Fernández, 2014).

La utilización de sensores que miden el estado hídrico del suelo y/o de la planta permite optimizar la programación del riego basada en la estimación de la evapotranspiración máxima del cultivo (ETc). La mayoría de los sensores utilizados se conocen como tensiómetros, bloques de yeso, sensores de matriz granular y sondas de neutrones. El sensor watermark ha resultado un método efectivo para medir la humedad del suelo, y ha sido muy utilizado en los últimos años por su fiabilidad y precisión en diferentes especies agrícolas y forestales (Shock *et*

*al.*, 2013).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la humedad de un suelo vertisol compactado mediante el sensor watermark en una plantación de *Cedrela odorata* L. sometida a diferentes dosis y frecuencias de riego.

## Materiales y métodos

La investigación se realizó en una plantación experimental de *Cedrela odorata* L. establecida en el Valle del Yaqui (Bloque 910), perteneciente al Centro de Transferencia de Tecnología del Instituto Tecnológico de Sonora, ubicada al sur del estado de Sonora, México, entre la Sierra Madre Occidental y el Mar de Cortés, limitando al norte con Ciudad Obregón y al sur con el Valle del río Mayo; entre los paralelos 27°10' y 27°50' latitud norte, y los meridianos 109°55' y 110°36'.

En el área de investigación se instalaron aleatoriamente sensores (watermark), de los cuales se tomaron cinco para monitorear la humedad del suelo mediante un sistema de riego por goteo sometido a cuatro dosis y frecuencia de riego (96 litros de agua cada diez días en junio 2010, 192 litros de agua cada diez días en julio 2010, 192 litros de agua cada siete días en agosto, octubre y noviembre 2010 y 192 litros de agua cada tres días en agosto 2011) (Del Lungo, 2012).

Los sensores se colocaron a 1 m de profundidad y a 20 cm de distancia del árbol (Ortíz *et al.*, 2003) y de la fuente de abastecimiento de agua propia de un sistema de riego por goteo empleando cintas y goteros con un gasto de 0.01 l, separados a 45 cm (Valenzuela, 1975). Las lecturas fueron dadas en centibares (cB) y se tomaron de manera permanente cada 10 minutos. De acuerdo a la textura del suelo las lecturas se correspondieron al siguiente estado de humedad (tabla 1), según Urzainqui (2010).

**Tabla 1. Interpretación de las lecturas de los sensores watermark**

Lectura en centibares	Estado de la humedad en el suelo
0-10	Suelo saturado
10-30	Suelo con suficiente humedad, excepto suelos de arena gruesa que empiezan a secarse
30-60	Margen para iniciar el riego excepto en suelos muy arcillosos
60-80	Margen para iniciar el riego en los suelos muy arcillosos
Mayor de 80	El suelo se está secando peligrosamente

El déficit de presión de vapor (DPV) se determinó considerando la diferencia entre la presión de saturación de vapor ( $e_s$ ) y la presión real de vapor ( $e_a$ ), a partir del cálculo de los valores de porcentaje de humedad relativa y temperatura promedio como se expresa en las siguientes fórmulas desarrolladas por Ortíz *et al.* (2003):

$$e^{\circ}(T \text{ min}) = 0.6108 * \exp \left[ \frac{17.27 * T \text{ min}}{T \text{ min} + 237.3} \right]$$

$$e^{\circ}(T \text{ max}) = 0.6108 * \exp \left[ \frac{17.27 * T \text{ max}}{T \text{ max} + 237.3} \right]$$

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T \text{ max}) + e^{\circ}(T \text{ min})}{2}$$

$$e_a = e_s (\text{HR}_{\text{media}}) / 100$$

Donde:

$e_s$  = Presión media de vapor de saturación (kPa)

$e^{\circ}$  = Presión de vapor a temperatura

$T_{\text{max}}$  = Temperatura máxima

$T_{\text{min}}$  = Temperatura mínima

HR = Humedad relativa

DPV = Déficit de presión de vapor (kPa)

La evapotranspiración se determinó mediante la ecuación de Penman-Monteith propuesta por FAO (2006). A partir de la definición de evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), se determinó el coeficiente del cultivo ( $kc$ ) relacionando la evapotranspiración medida del cultivo ( $ET_c$ ) con la  $ET_o$  calculada, es decir:

$$ET_o = ET_c * kc$$

$$kc = ET_c / ET_o$$

El coeficiente ( $kc$ ) depende del tipo de cultivo y su fase de desarrollo. En este caso se tomó como referencia el  $kc$  anual del cultivo en árboles frutales en condiciones semiáridas con un valor de 0.70 (FAO, 2006), que representa un dato muy cercano debido a que toma como referencia al cultivo de cítricos en la zona agrícola del Valle del Yaqui, los cuales demandan cantidades de agua muy cercanas a las estimadas en el experimento. La evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) anual en las condiciones de suelo vertisol compactado del Valle del Yaqui es de 1 887 mm ( $5.17 \text{ mm día}^{-1} \times 365$ ), de acuerdo a los datos obtenidos de la estación meteorológica Block 910 CIANO (Agrosón, 2010).

Los valores de humedad relativa y temperaturas máximas y mínimas se obtuvieron del sistema de información agroclimática (Agrosón, 2010). Posteriormente se determinaron los valores medios de  $e_s$  y  $e^{\circ}$  a través de lecturas cada una hora y finalmente se determinó el DPV para todos los meses.

Se realizó un análisis de correlación no paramétrico de Spearman al 99% de confiabilidad (Spearman, 1904) con los datos obtenidos del año 2010 asociadas a la economía hídrica de la planta (DPV, temperatura y humedad del suelo).

## Resultados y discusión

Las medidas de humedad del suelo a través del sensor watermark reflejaron para el primer ensayo (96 litros de agua cada diez días) lecturas mínimas superiores a los 20 centibares (cB) de presión de humedad del suelo durante el mes de junio, lo cual reflejó que no se logra la saturación para que exista capacidad de campo necesaria para que la especie pueda resolver sus necesidades hídricas. En la mayoría de los casos las lecturas se registraron con valores muy similares entre los 30 y 70 cB, que determinan el margen para iniciar los riegos en suelos arcillosos (figura 1). De la misma forma, se observan lecturas cercanas a los 80 cB. Según Urzainqui (2010), valores entre 80 y 100 cB de presión indican que el suelo se está secando peligrosamente y pone en riesgo la viabilidad del cultivo, de tal manera que al finalizar el mes de junio se procedió a aumentar la dosis de riego.

La respuesta del suelo a la humedad suministrada por el sistema de riego por goteo (R) en el mes de julio, con una dosis y frecuencia de riego de 192 litros de agua cada diez días (figura 2) resultó con diferencias de presión de 20 cB, fundamentalmente en los primeros diez días del mes de julio. La mayor presión se presentó en los días 8, 18, 19 y 25, donde se presentaron las mayores temperaturas ( $39^{\circ}\text{C}$ ). Se evidenció una ligera disminución de presión el día 10, con valores de 12 cB y al día siguiente de 29 cB, lo que demostró la influencia de la temperatura en la diferencia de presión de humedad del suelo.

Se comprobó que cuando se presentaron precipitaciones (P), segunda quincena del mes, y se realizó la sesión de riego se favorecen las condiciones de humedad del suelo con lecturas por debajo de los 10 cB.

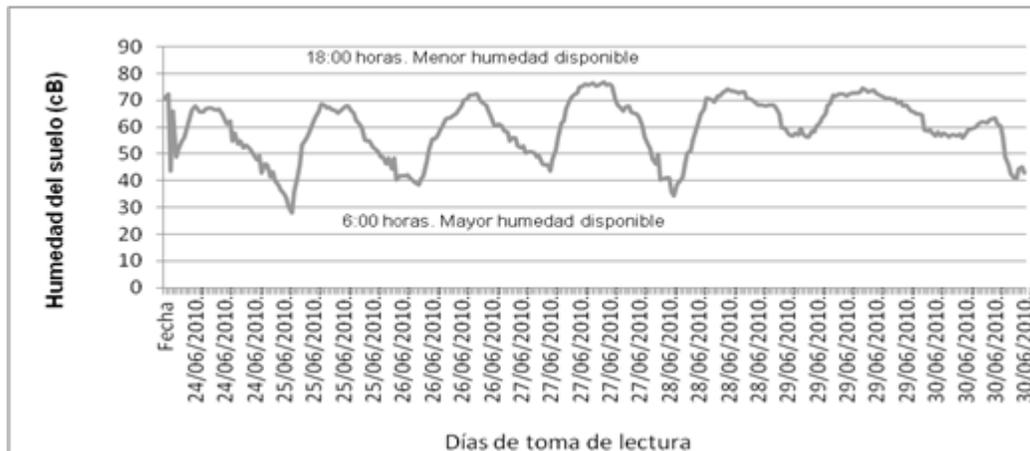


Figura 1. Comportamiento de la humedad del suelo con una dosis y frecuencia de riego de 96 litros cada diez días en el mes de junio.

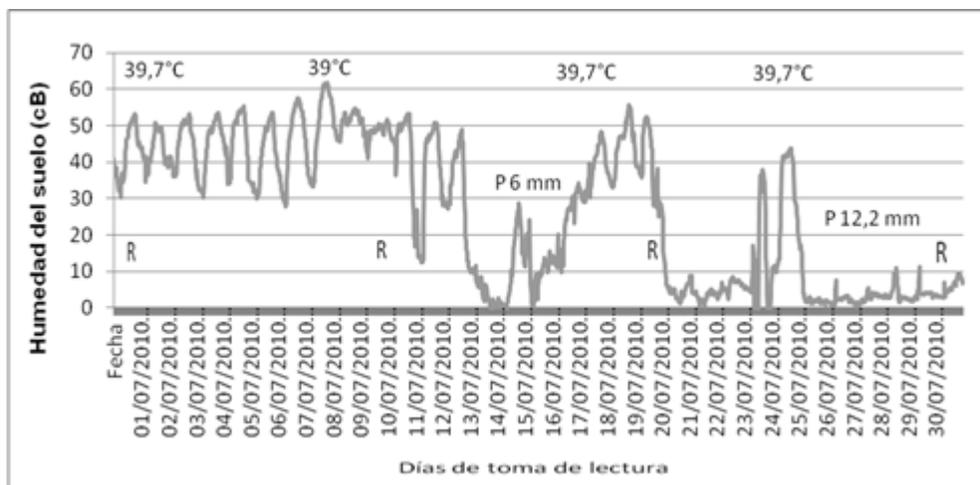


Figura 2. Comportamiento de la humedad del suelo con una dosis y frecuencia de riego de 192 litros de agua cada diez días en el mes de julio.

Se evidenció fluctuaciones durante el mes de agosto donde se programó la frecuencia de riego cada siete días (los días 1, 8, 15, 22 y 29 del mes) con la misma dosis de 192 litros por sesión de riego (figura 3).

El día tres se registró la temperatura más alta del mes (42 °C), sin embargo se presentó una disminución de presión, alrededor de 15 cB, reflejando que el suelo presenta suficiente humedad pero no cuenta con la saturación necesaria para lograr la capacidad de campo. López (2006), refiere que las diferentes texturas del suelo tienen variadas capacidades de campo debido a las diferencias en el

área total expuesta en sus partículas. La capacidad de campo de una arcilla es alta, la de limo es intermedia y la de una arena es baja.

El día 5 de agosto se presentó una ligera precipitación de 0.6 mm, y los valores de humedad del suelo resultaron de 10 cB, disminuyendo ligeramente la presión en los sensores con 1.8 mm de precipitación, hasta el día 8 del mes donde se suministró el próximo riego. Posteriormente, en el día 13 se registraron precipitaciones de 2 mm con lecturas por debajo de los 10 cB de presión; los dos días posteriores se reportan aumentos de temperaturas hasta recibir la dosis de riego el día 15

de agosto, lográndose la saturación completa del suelo.

Los días 19, 20 y 21, se registraron nuevamente precipitaciones, en este caso de 2 mm y se aplicó la dosis de riego, lográndose la saturación necesaria para la capacidad de campo hasta el día 24 de agosto. Los días posteriores presentan un aumento en las temperaturas llegando a los 41.7 °C, obteniéndose lecturas cercanas a los 60 cB de presión, lo cual indicó que el suelo está secándose.

Se registró la precipitación más alta del mes (7,2 mm), sin embargo las altas temperaturas aumentan la presión en la humedad del suelo, hasta recibir

nuevamente la dosis de riego correspondiente al día 29 del mes de agosto. Estos resultados se corresponden con los obtenidos por Ortíz *et al.*, (2003) y Ortíz *et al.*, (2010) en condiciones similares.

En el mes de octubre del 2010 los riegos se realizaron los días 2, 9, 16, 23 y 30 y no se registraron precipitaciones. Sin embargo la estación de otoño en el Valle del Yaqui marcó un descenso ligero en las temperaturas, registrándose la más alta el día 8 con 38 °C, las cuales permitieron aumentar la presión del sensor watermark por encima de los 30 cB (figura 4), seguida de una disminución de

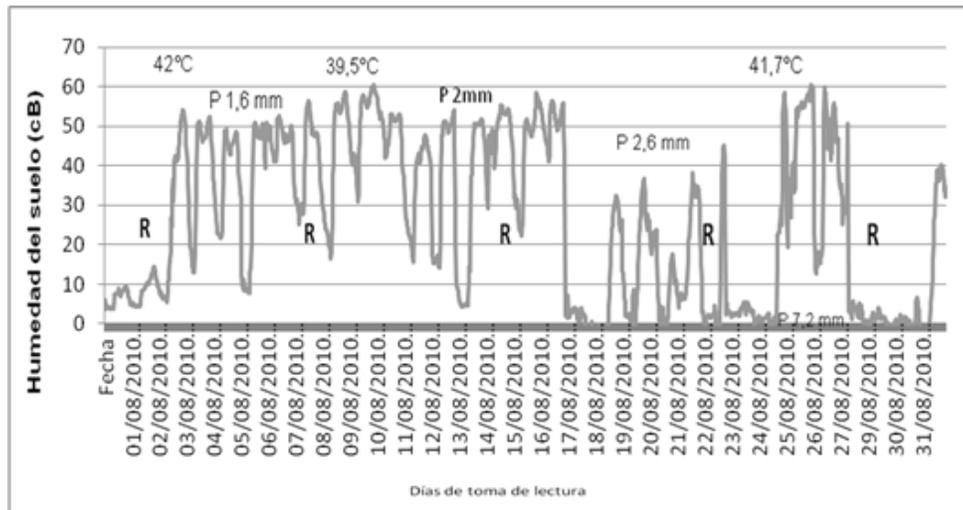


Figura 3. Comportamiento de la humedad del suelo con una dosis y frecuencia de riego de 192 litros de agua cada siete días en el mes de agosto.

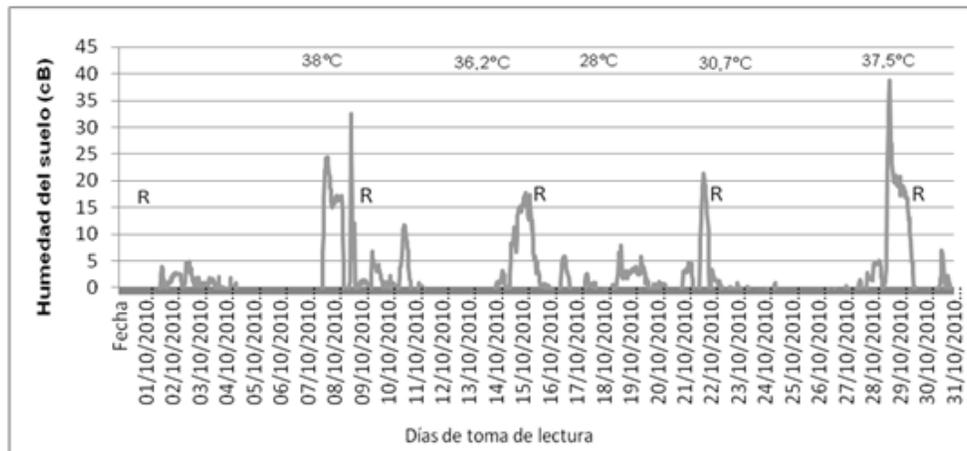


Figura 4. Comportamiento de la humedad del suelo con una dosis y frecuencia de riego de 192 litros cada siete días en el mes de octubre.

temperatura, al descender ordenadamente los valores del sensor al momento de la dosis de riego el día 9 de octubre.

El día 16 se aplicó la dosis de riego correspondiente, en este caso el sensor registró lecturas cercanas a los cero cB como reflejo de una completa saturación del suelo. Al día siguiente disminuyó la temperatura a 28 °C y continúa la presión del suelo por debajo de los 10 cB, demostrándose la relación directa entre la temperatura y la evaporación del suelo registrada en el sensor watermark.

El día 23 se registró una temperatura de 30.7 °C, lo cual aumentó ligeramente la presión por encima de los 20 cB pero disminuyó inmediatamente después de la sesión de riego. En el mismo mes se presentaron aumentos en la temperatura lo cual permitió que aumentara también la presión del sensor a lecturas cercanas a los 40 cB el día 22.

A pesar de tener valores por debajo de 10 cB en la mayoría de los días del mes no ha sido posible la mitigación completa del estrés hídrico debido a que los días anteriores a las sesiones de riego se presentaron valores por encima de los 20 cB y en algunos casos cercanos a los 40 cB. Urzainqui (2010), reportó en una investigación en el Valle del

Yaqui para el mes de octubre valores de humedad del suelo variables entre 20 a 60 cB para una profundidad del suelo de 45 cm de profundidad del sensor.

En el mes de noviembre se demostró la mitigación del estrés hídrico al mantenerse los valores por debajo de los 5 cB de presión (figura 5), lo que indicó que en este mes la dosis de 192 litros de agua cada siete días es la adecuada para satisfacer las necesidades hídricas de la especie bajo la influencia de la temperatura, comprendidas entre los 26 °C y 31.4 °C durante el periodo. Posteriormente, al iniciar el mes de diciembre la temperatura descendió a 3.9 °C con máximas de 30.6 °C de tal manera que se suspendieron los riegos a partir de esta fecha, registrándose un aumento de la presión hasta los 55 cB, existiendo presión suficiente en el suelo para llevar lentamente la especie al estrés hídrico, coincidiendo con el periodo de dormancia invernal. Estos resultados expresan claramente un patrón de comportamiento diferente a partir de la suspensión de los riegos en el mes de diciembre del 2010.

En el mes de enero del 2011 después de suspender los riegos, al evidenciarse la dormancia invernal de la especie, los valores se mantuvieron entre los 60 y

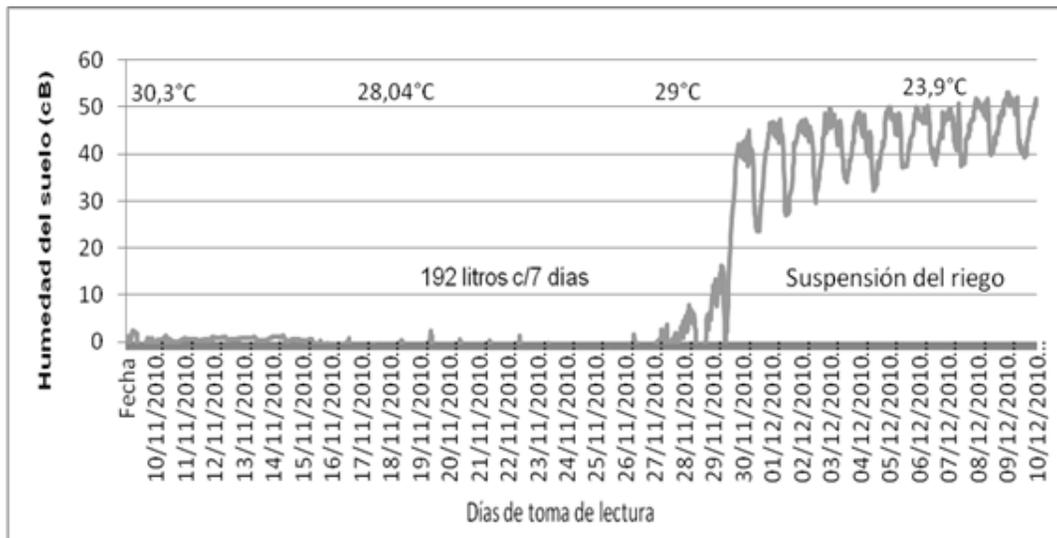


Figura 5. Comportamiento de la humedad del suelo con una dosis y frecuencia de riego de 192 litros de agua cada siete días en el mes de noviembre y diciembre.

80 cB (figura 6), lo que representa desecación del suelo. Sin embargo la especie no mostró estrés hídrico, por lo que se suspendieron los riegos hasta el mes de mayo donde la planta inició nuevamente con el desarrollo meristemático apical.

Durante el mes de enero se realizaron riegos ligeros para evitar el riesgo de alguna helada, registrándose temperaturas máximas (Tmax) de 24,5°C y temperaturas mínimas (Tmin) de 2,9 °C el día 4 de enero donde las plantas no registraron movimientos en sus funciones, lo cual reflejó que a pesar de tener lecturas cercanas a los 80 cB, las bajas temperaturas

determinan que no es necesario efectuar labores de riegos.

Las lecturas obtenidas de los sensores en agosto del 2011, cuando se incrementó la frecuencia de riego a 192 litros de agua cada tercer día (3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28 y 31), reflejaron de manera general valores por debajo de los 10 cB (figura 7). En este sentido Urzainqui (2010), refiere que valores entre los 0 y 10 cB representan un suelo saturado y necesario para satisfacer las necesidades hídricas de las plantas.

Los resultados indicaron que a pesar de haberse



Figura 6. Comportamiento de la humedad del suelo sin riego en el mes de enero.

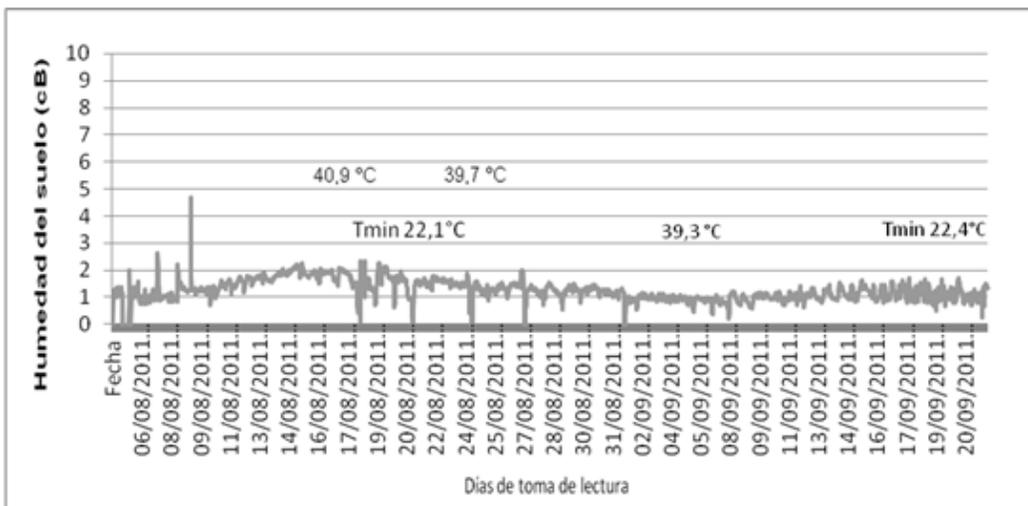


Figura 7. Comportamiento de la humedad del suelo con una dosis y frecuencia de riegos de 192 litros cada tres días en el mes de agosto.

registrado temperaturas entre los 31 °C y 41 °C el día 17 de agosto, donde algunos sensores registraron un ligero aumento de presión, que inmediatamente se mitiga con la frecuencia de riego el suelo se mantiene saturado.

En estudios realizados por Vélez (2004), en huertos de cítricos ubicados en Valencia, España, reportan que no fue posible programar los riegos en base a la información proporcionada por los watermarks, siendo el primer intento hasta ese momento publicado donde se utilizaron los sensores a 30 cm de profundidad debido a que normalmente en cultivos agrícolas las raíces se encuentran superficialmente.

En la figura 8 se muestran los valores medios y

desviación estándar del déficit de presión de vapor (DPV) y la temperatura, para el año 2010 y 2011, observando que coinciden para valores menores de DPV menor temperatura, es decir, que en el año 2011 donde se registró menor temperatura, el DPV fue menor.

En la tabla 2 se muestra la correlación no paramétrica de Spearman obtenida para las variables temperatura, DPV y humedad del suelo para el año 2010. Los resultados reflejan una correlación significativa, lo cual demostró el alto grado de relación entre las variables, siendo significativamente superior la temperatura y el DPV con un coeficiente de correlación de 0.96. La relación de la humedad del suelo con las otras

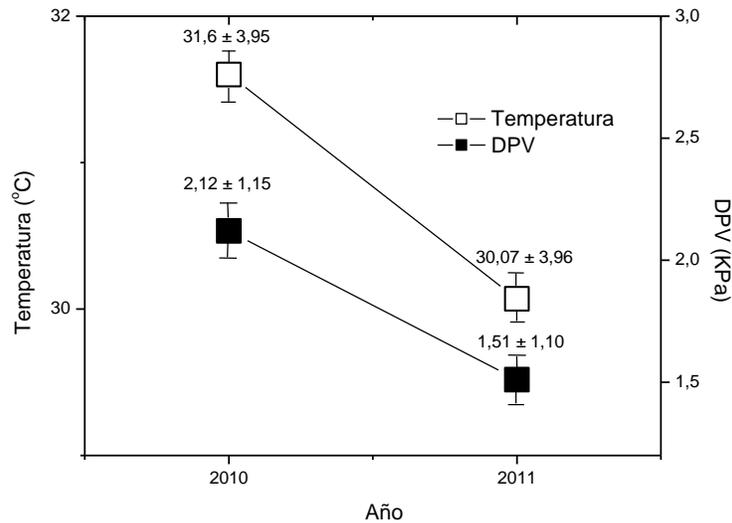


Figura 8. Valores medios del DPV y temperatura/años.

Tabla 2. Matriz de correlación de Spearman para variables relacionadas con la economía hídrica de la planta en el año 2010.

	T_2010	DPV_2010	Humedad del suelo_2010
T_2010	1.000	0.965(**)	0.249(**)
DPV_2010		1.000	0.285(**)
Humedad del suelo_2010			1.000

\*\* La correlación es significativa para  $p \leq 0.01$ .

variables es significativa, pero muy baja.

En la tabla 3, se muestran los valores obtenidos de evapotranspiración (ETc) en las condiciones del Valle del Yaqui para suelo vertisol. Estos resultados permiten estimar el volumen de agua consumido por *Cedrela odorata*, con una evapotranspiración del cultivo de 1 320 mm. Urzainqui (2010), en un estudio sobre monitoreo de la humedad del suelo y programas de riego en *Citrus sinensis* en el Valle del Yaqui obtuvo una evapotranspiración de 1 307 mm, reportando que hubo un déficit de 264 mm de la lámina real.

**Tabla 3. Evapotranspiración del cultivo en condiciones de suelo vertisol compactado del Valle del Yaqui.**

Evapotranspiración del cultivo (ETc)	Coefficiente del cultivo (Kc)	Evapotranspiración de referencia (ETo)
1320 mm	0.70	1887 mm

Al evaluar la evapotranspiración del cultivo resultó interesante los criterios de Gispert *et al.* (1983), los cuales refieren que la evapotranspiración depende de factores como la radiación, viento, humedad, tipo de suelo y la vegetación. En el estudio los valores obtenidos de evapotranspiración están influenciados por estos factores.

### Conclusiones

Las medidas de humedad del suelo a través del sensor watermark resultaron con fluctuaciones en los diferentes períodos de evaluación, los cuales se corresponden con el suministro de riego, las precipitaciones y las temperaturas.

Se demostró que para valores por debajo de los 15 cB el suelo se satura logrando la capacidad de campo necesaria mediante el cual la especie *Cedrela odorata* satisface sus necesidades hídricas.

Se obtuvo correlación significativa entre las variables déficit de presión de vapor (DPV) y temperatura, lo cual ayuda a entender la economía hídrica de la especie en estudio.

Los valores de evapotranspiración permitieron estimar el volumen de agua consumido por la especie *Cedrela odorata* en las condiciones de compactación en suelo vertisol.

### Bibliografía

AGROSON. 2010. Red de estaciones meteorológicas del Valle del Yaqui, Sonora, México. Disponible <http://www.agroson.org.mx>. Consultado diciembre.

Bonilla, M., & Cancino, V. 2001. Estimación del contenido de

humedad del suelo mediante el empleo de funciones de pedotransferencia. *Agricultura Técnica*, 61(3), 326-338.

Bulfe, N., & Fernández, M. E. 2014. Efecto del momento de ocurrencia del déficit hídrico sobre el crecimiento de plantines de *Pinus taeda* L. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 113(1), 81-93.

De Simón, E. 1990. Restauración de la vegetación en cuencas mediterráneas: repoblaciones en zonas áridas. *Ecología, Fuera de Serie 1*: 401-427.

Del Lungo, A. 2012. El riego forestal sostenible en zonas áridas y semiáridas. *Unasylva: revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, (239), 63-64.

FAO. Evapotranspiración del cultivo. 2006. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje, No. 56. Roma. Italia.

Gispert, C., Castelló, R., Cuerda, J., Guisan, S., Ibanez, J., Navarro F., Oliva M. y Olivar J. 1983. Biblioteca agrícola y ganadera. Los fundamentos de la agricultura. Editorial océano. España. 45.

Jiménez, M. N., Ripoll, M. A., Navarro, F. B., Bocio, I., & De Simón, E. 2004. Modificación del microclima edáfico producido por riegos en forestaciones de zonas semiáridas. *Forest Systems*, 13(4), 142-151.

López, R.G.F. 2006. *Ecofisiología de árboles*. Universidad Autónoma de Chapingo. Primera edición. Texcoco, Estado de México, México. 360.

Ortíz, E.J.E., Cortez, J.J.M. y Valencia, P.F. 2003. Manejo de riegos para los principales cultivos del sur de Sonora. Folleto técnico No. 51. INIFAP. México. 15.

Ortíz, E.J.E., Ramírez, D.J.M., Valdez, G.B. y Félix, V.P. 2010. Monitoreo de la Humedad del suelo y Programa de Riego en Naranja (*Citrus sinensis*) bajo Riego por Goteo en el Valle del Yaqui, Sonora. INIFAP. México.

Ripoll, M.A. 2004. Aprovechamiento de escorrentías superficiales mediante la construcción de microcuencas: aplicación a la forestación en ambientes mediterráneos. Tesis Doc Universidad de Granada.

Santiago H. L. 2015. Medición y análisis de la interceptación de lluvia en un bosque encino: aplicación a la microcuenca la Barreta (Doctoral dissertation).

Shock, C. C., Welch, T., Wang, F. Z., Flock, R., Feibert, E. B. G., Shock, C. A., & Pereira, A. 2013. El control del riego mediante la tensión matricial del suelo. Corvallis, Or.: Extension Service, Oregon State University.

Spearman, C. 1904. The proof and measurement of association between two things. *Am. J. Psychol.* 15: 72-101.

Urzainqui, P. M. Medidor de humedad Watermark. La medición de la humanidad del suelo. <http://urzainqui.galeon.com/productos1497458.html>. Consultado julio del 2010.

Valenzuela, R. T. 1975. Principios básicos del riego por goteo y experiencias de su aplicación en la República Mexicana. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Organización de estados Americanos. Mendoza, Argentina. 29.

Vélez, J.E. 2004. Programación de riego en cítricos en base a sensores de medida del estado hídrico del suelo y la planta. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España. 113.