

Curvas Características de Humedad como Herramienta de Optimización y Determinación del Tiempo de Riego

Moisture Characteristic Curves as a Tool for Optimization and Determination of Time of Irrigation

Jaime Izquierdo B.¹, Liseth Nayibe Javela², y Yilberth Alexander Oviedo³

Resumen

Se propone un método para determinar el tiempo de riego mediante la relación entre la retención de humedad, las propiedades físicas de los suelos y la función de pedotransferencia de lámina neta. Las curvas características de humedad a presiones de 0.1, 0.3, 0.5, 5.0, 10 y 15 bares por el método de membranas de Richards y las propiedades físicas de los suelos definidos por zonas (6): Eucaliptos, P, E, C, Huerta y G en la Finca La Esperanza del municipio de Algeciras (Huila), destinados a la producción de pasto *Brachiaria Decumbens*. Se determina la correlación para cada zona con valores de 0.97, 0.87, 0.95, 0.92, 0.93 y 0.99 respectivamente, obteniendo el porcentaje de humedad a incrementos de presión de 10, 100 y 500 cm - bares en el rango de agua aprovechable para las plantas y se calcula la lámina de agua en el suelo (LAS), y el tiempo de riego para cada suelo, proponiéndose además la metodología para la corrección del tiempo de riego.

Palabras claves: Curva característica de humedad, tiempo de riego, propiedades físicas del suelo.

Abstract

We propose a method for determining the run time using the moisture characteristic curves, the physical properties of soils, the role of foil pedotransferencia net and central blood pressure as an indicator of moisture conditions located in the garden, linking different data from the moisture characteristic curves and the physical properties obtained in the laboratory. The determination of the moisture characteristic curves was carried out at pressures of 0.1, 0.3, 0.5, 5.0, 10 and 15 bar the pressure membrane method of Richards and the physical properties of 6 different types of soils identified in 6 zones: Eucalyptus, P, E, C, G Orchard and hope farm located in the lower Andes village in the municipality of Algeciras Colombia for the production of *Brachiaria decumbens* pasture, it was determined the equation of each curve was obtained in a ratio correlation for each area: 0.97, 0.87, 0.95, 0.92, 0.93 and 0.99 respectively, thus allowing moisture to get the % pressure increase of 10, 100 and 500 cm - bars in the ange that includes the available water for plants using data from the physical properties and moisture obtained at different pressures was calculated water depth in the soil (LAS) and the run time for each type of soil analyzed, the methodology proposed for correction in the run time generated by having a pressure difference between the garden area and another area that can not be supplied on the same day they performed the irrigation zone.

Keywords: Moisture characteristic curves, time of irrigation, soil properties.

¹ Magister en Ingeniería Civil. Docente Universidad Surcolombiana Neiva. Av. Pastrana Cra 1°. jaimeizquierdo@usco.edu.co

² Estudiante Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana Neiva. nubesity@hotmail.com

³ Estudiante Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana Neiva. oviedoeingenieros@hotmail.com

1. Introducción

La curva característica de retención de humedad del suelo es una herramienta útil en la determinación del índice de proporción de humedad disponible en el suelo (Stakman, 1980), en la estimación de valores de humedad característicos de la relación agua-suelo-planta, como la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. También permite clasificar los suelos, determinar los cambios en la estructura, determinar la relación entre la tensión de la humedad y otras propiedades físicas (Martínez, et al., 1995), en la determinación de funciones de edafotransferencia y como modelos de predicción de la proporción de humedad del suelo para la implementación de labranza (Cadena et al., 2008). Así mismo es una herramienta para estimar el flujo de evaporación en la superficie del suelo, en la cual intervienen las curvas características del suelo $h(\theta)$ y $K(\theta)$, que son difíciles y costosas de obtener tanto en laboratorio como en terreno (Hernández y Muñoz, 2009).

Debido a que la determinación en campo de esta proporción de humedad reviste un rango de error al ser afectado por diferentes variables, estas pueden ser reducidas en buena medida si se realiza en condiciones de laboratorio (Martínez, et al., 1995). La determinación de la curva de retención en laboratorio permite soslayar parte de las dificultades, las restricciones de esta alternativa pueden ser asumibles, debido al control que se hace de las variables que intervienen. Para obtener la curva se requiere de la medida de un número apropiados de puntos (Martínez, et al., 1995), que deben ser seleccionados dependiendo del grado de exactitud que se requiera, de la cantidad de muestras de suelos que se analizarán y el costo generado en la determinación de la curva en laboratorio.

La medición directa de las curvas características de humedad a nivel de campo o laboratorio, a menudo es de alto costo en términos de tiempo y dinero, con resultados no siempre precisos (Rawls et al., 1982). Además, la variabilidad espacial propia del suelo obliga a disponer de un elevado número de muestras para representar adecuadamente un área de grandes dimensiones (Williams et al., 1992). Esta situación muchas veces limita la posibilidad de verificar y validar estos parámetros (Schaap et al., 1998).

Para la determinación de las curvas características de humedad se utilizan variados métodos de laboratorio en el que el principio son los recipientes de tensión hídricos y membranas a presión (Richards, 1947). En investigaciones anteriores se han realizado determinaciones de las curvas por el método de baterías de recipientes desarrollada en la Universidad de Murcia, obteniéndose 9 puntos de la curva de retención considerados más que suficientes para la estimación de la curva completa (Martínez, et al., 1995), y el conjunto de valores obtenidos permite calcular por interpolación los datos para una aproximación más detallada (VOLTZ y Goulard, 1994).

La aplicación que se propone de las curvas características de humedad para determinar las ecuaciones de edafotransferencia, permite calcular el tiempo de riego para los distintos tipos de suelos a partir del conocimiento de las condiciones *in situ* de una de las zonas, que para el caso se denomina "la zona Huerta" y de esta forma generar un método de fácil utilización, que permita la determinación de cuánto y cuándo irrigar.

2. Metodología

2.1. Localización: el estudio se realizó en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana ubicada en la ciudad de Neiva, a una altitud de 442 m.s.n.m, temperatura promedio 28°C, Humedad relativa de 68%, y precipitación promedio anual de 1270 mm. Se llevó a cabo la determinación de las curvas características de humedad y de las propiedades físicas de los suelos de la finca la Esperanza en el municipio de Algeciras.

2.2. Métodos: para el estudio se siguieron las siguientes cuatro fases:

Primera fase: Se realizó el muestreo en campo para la obtención del suelo al que se le determinan las propiedades físicas y la curva característica de humedad en el laboratorio de suelos de la Universidad Surcolombiana. Se tomaron 9 muestras con barreno Holandés en un área de 20 ha a una profundidad máxima de 30 cm, simultáneamente se realizó la evaluación de infiltración y conductividad hidráulica. Una vez

determinadas las propiedades físicas de textura, densidades aparente y real, porosidad, y conductividad eléctrica en laboratorio, las muestras se agruparon en 6 zonas denominadas Eucaliptos, P, E, C, Huerta y G, tomando como criterio para esto la similitud entre las propiedades determinadas.

Segunda fase: Se determinan las curvas características de humedad para cada zona por el método de membranas a presión de Richards. El porcentaje de humedad se determinó a las presiones de 0.1, 0.3, 0.5, 5.0, 10 y 15 bares.

Tercera fase: Se realiza la determinación de las curvas características, su función y respectivo coeficiente de regresión para cada zona y así hallar los valores de porcentaje de humedad en variaciones de presión cada 10, 100 y 500 cm-bares a partir de 10 cm-bares hasta 18000 cm-bares, con el fin de analizar en detalle el rango de agua aprovechable para las plantas, considerando 20 cm-bares por debajo de la capacidad de campo (30 cm-bares) y 300 cm-bares por encima del valor de punto de marchitez permanente (1500 cm-bares), las unidades se manejan en cm-bares ya que comúnmente los tensiómetros manejan esta unidad de tensión.

Cuarta fase: Se tomaron los datos obtenidos en la primera fase y se determinan las funciones de edafotransferencia para el cálculo de lámina de agua del suelo, la lámina de riego y el tiempo de riego (Ec-1)

$$LAS = \left(\frac{\% \text{ de humedad en cmbar} - \% \text{ de humedad a 1500 cmbar}}{100} \right) \times \rho_a \times Pe \quad \text{Ec-1}$$

Donde LAS = lámina de agua del suelo (mm), % de humedad a n cm-bar = corresponde a la humedad que tendrá una zona a la presión que se desea calcular lámina, % de humedad a 1500 cmbar = es la humedad correspondiente a PMP, ρ_a = densidad aparente (g/cm^3), Pe = profundidad efectiva de raíces del cultivo (mm)

En la ecuación 2 permite calcular la lámina que tendrá el suelo cuando se hace necesario el riego, para conocer la presión que tendrá el suelo en este punto. Teniendo en cuenta lo anterior:

$$LR = \left(\frac{\% \text{ de humedad a 30 Cbar} - \% \text{ de humedad a 1500 Cbar}}{100} \right) \times \rho_a \times Pe \times Na \quad \text{Ec-2}$$

Donde LR = Lámina de riego, Na = Nivel de agotamiento que se ajusta tanto a planta y método.

Para la determinación del tiempo de riego se requiere la aplicación de la ecuación 3.

$$TR = \frac{\left(\frac{LAS \text{ a } 30 \text{ Cbar} - LAS \text{ a } n \text{ bar}}{Ea} \right) \times TR_{mc}}{LB_{mc}} \quad \text{Ec-3}$$

Donde TR = Tiempo de riego en min, LAS a 300bar = lámina de agua del suelo a CC en mm, LAS a n bar = lámina de agua en la zona a la presión a la que se le está calculando el tiempo de riego en min.

$$\left(\frac{LAS \text{ a } 300 \text{ bar} - LAS \text{ a } n \text{ bar}}{Ea} \right) = Lbcada \text{ zona}$$

Ea = Eficiencia de aplicación del sistema (0.8), LB_{mc} = Lámina bruta de riego calculada en el método convencional o tiempo crítico de la zona en mm, TR_{mc} = tiempo de riego necesario para incorporar al suelo la LB, calculado para cada zona por el método del mes crítico.

En cuanto al tiempo de riego se utiliza el tiempo que es necesario para suplir la demanda hídrica y así entregar el agua suponiendo que este se hará diariamente. Observando la ecuación anterior, se aprecia una

relación lineal, puesto que se tiene la lámina bruta de aplicación para cada presión por el método del mes crítico, se tiene la lámina bruta y el tiempo de aplicación para cada zona, puesto que el emisor tiene las mismas características y es el mismo cultivo, estos son relacionados por regla de tres ecuación 4.

$$\frac{LB_{mc}}{TR_{mc}} = \frac{LB_{cz}}{TR} \quad \text{Ec-4}$$

Para la determinación del tiempo total de riego se encuentra en función del número de posiciones por zona y la cantidad de aspersores que se ponen en funcionamiento al tiempo, como se presenta en la ecuación 5.

$$TTR = TR \left(\frac{\text{No. posiciones por zona}}{\text{No. aspersores al tiempo}} \right) \quad \text{Ec-5}$$

Donde TTR = Tiempo Total de Riego, N° Posiciones por zona = cambian para cada zona según el área y el diseño, N° aspersores al tiempo = 4 para todas las zonas.

En caso de que el riego no sea realizado en un día, se debe hacer una corrección por la lámina que se pierde a través del tiempo, como el tiempo de riego es lineal con respecto a la LAS, es decir entre menor sea la lamina de agua que tenga el suelo, mayor será el tiempo de aplicación necesario para que el suelo alcance la capacidad de campo, entonces para hacer una corrección cuando el tiempo de aplicación es muy largo, para el siguiente riego se procede de la aplicando la ecuacion 6.

$$\Delta P = P_{cmbar} \text{ al final del riego} - P_{cmbar} \text{ al momento del riego} \quad \text{Ec-6}$$

Donde ΔP = diferencia de presión en cmbar entre el momento del riego y el final del riego de toda la zonas, de dar positivo este valor habrán existido salidas de agua del suelo, de dar negativa habrá existido una ganancia de agua del suelo por precipitación., el ΔP puede relacionarse con una LAS, con la tabla Tiempo Total de Riego según el número de aspersores, con un tiempo de riego, de no encontrarse el valor se puede hacer una interpolación o extrapolación potencial para encontrar el valor, y al tiempo de riego según el tensiómetro se deberá adicionar o restar según sea el caso.

Como el tiempo de riego es lineal con respecto a la LAS los datos obtenidos permiten determinar el tiempo de riego para cada zona para que esta alcance condición de capacidad de campo, así para el caso de la zona huerta, si el suelo tiene una lamina de 40mm se deberá regar aproximadamente 6min para que el suelo quede a capacidad de campo. También se puede presentar la relación entre lámina y presión, para saber la lámina que tendrá el suelo a diferentes presiones, puesto que lo que se lee en campo es la presión con la ayuda del tensiómetro.

En caso de que el tensiómetro falle o se tenga duda en cuanto a su lectura, calcular la humedad es un procedimiento bastante sencillo, con el que solo se requiere de una estufa o horno, una balanza confiable y una muestra de suelo homogénea, se puede relacionar las presiones con los porcentajes de humedad, que luego se podrán relacionar con los tiempos de aplicación.

3. Resultados

3.1. Plan de Riego con Curvas de Retención de Humedad

Teniendo las ecuaciones de las curvas de retención de humedad para los suelos de cada zona, se calcula el % de humedad a diferentes presiones.

Tabla N° 1. % de humedad a diferentes presiones para cada Zona

| PRESION (CBAR) | EUCALIPTOS | ZONAP | ZONAE | ZONAC | HUERTA | ZONAG |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | %HUMEDAD | %HUMEDAD | %HUMEDAD | %HUMEDAD | %HUMEDAD | %HUMEDAD |
| 50 | 29.41 | 41.51 | 43.45 | 42.96 | 51.17 | 35.20 |
| 100 | 24.34 | 32.36 | 35.51 | 32.87 | 43.27 | 27.95 |
| 300 | 18.03 | 21.81 | 25.79 | 21.51 | 33.17 | 19.38 |
| 500 | 15.69 | 18.16 | 22.23 | 17.66 | 29.31 | 16.35 |
| 700 | 14.31 | 16.09 | 20.16 | 15.51 | 27.02 | 14.62 |
| 900 | 13.36 | 14.70 | 18.74 | 14.08 | 25.42 | 13.44 |
| 1100 | 12.65 | 13.68 | 17.67 | 13.03 | 24.22 | 12.58 |
| 1300 | 12.08 | 12.89 | 16.83 | 12.21 | 23.26 | 11.90 |
| 1500 | 11.62 | 12.24 | 16.15 | 11.56 | 22.47 | 11.34 |
| 1700 | 11.23 | 11.70 | 15.57 | 11.01 | 21.80 | 10.88 |
| HUM. DISP. | 22.19 | 37.62 | 34.26 | 40.76 | 35.44 | 30.39 |

En la tabla N°1, la zona huerta se encuentra seleccionada por que es la zona que cuenta con las mejores características de retención de humedad por lo que en esta se instalara el tensiómetro por medio del cual se preverán las condiciones de las demás zonas y de acuerdo a esto hacer la aplicación del riego. La presión se presenta en cm-bares por que los tensiómetros generalmente se encuentran en cm-bares, 300 y 15000 corresponden a CC y PMP respectivamente, los datos que se presentan es a presiones cada 200 cm-bares, exceptuando la primera fila y los 1500 cm-bares ya que este es el correspondiente a punto de marchites permanente, si se requiere mayor detalle se recomienda aplicar la ecuación de curva característica correspondiente a la zona.

Tabla N° 2 LAS a diferentes presiones

| PRESION (CBAR) | EUCALIPTOS | ZONAP | ZONAE | ZONAC | HUERTA | ZONAG |
|----------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | LAS mm | LAS mm | LAS mm | LAS mm | LAS mm | LAS mm |
| 50 | 148.54 | 136.08 | 124.21 | 134.24 | 111.22 | 100.81 |
| 70 | 126.98 | 114.12 | 105.77 | 111.87 | 95.72 | 85.04 |
| 90 | 112.13 | 99.36 | 93.13 | 96.96 | 84.93 | 74.37 |
| 100 | 106.20 | 93.56 | 88.10 | 91.13 | 80.60 | 70.15 |
| 150 | 84.90 | 73.18 | 70.12 | 70.76 | 64.93 | 55.24 |
| 200 | 71.16 | 60.41 | 58.59 | 58.13 | 54.71 | 45.82 |
| 400 | 42.16 | 34.56 | 34.46 | 32.89 | 32.82 | 26.50 |
| 600 | 27.58 | 22.17 | 22.45 | 20.97 | 21.61 | 17.10 |
| 800 | 18.17 | 14.41 | 14.75 | 13.57 | 14.30 | 11.16 |
| 1000 | 11.36 | 8.92 | 9.20 | 8.37 | 8.98 | 6.93 |
| 1200 | 6.09 | 4.75 | 4.93 | 4.44 | 4.83 | 3.70 |
| 1400 | 1.84 | 1.43 | 1.49 | 1.33 | 1.47 | 1.11 |
| 1500 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1600 | -1.69 | -1.30 | -1.37 | -1.22 | -1.35 | -1.02 |
| Na | 0.6 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |

En la tabla N° 2 se presenta la lámina de agua que tiene el suelo a diferentes presiones calculada cada 200 cm-bares exceptuando los datos iniciales en las que se establece las condiciones de referencia demarcadas con sombra, para el cálculo de esta se tomó como base la humedad a diferentes presiones y la misma metodología para el cálculo de la lámina neta, sin embargo no se tuvo en cuenta el nivel de agotamiento (Na).

Tabla N° 3. Tiempo de riego para cada zona a diferentes presiones

| PRESION (CBAR) | EUCALIPTOS | ZONAP | ZONAE | ZONAC | HUERTA | ZONAG |
|-------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | TR (min) | TR (min) | TR (min) | TR (min) | TR (min) | TR (min) |
| 50 | 74.36 | 67.62 | 59.62 | 72.47 | 24.41 | 49.73 |
| 70 | 117.97 | 105.84 | 94.32 | 112.97 | 38.92 | 78.15 |
| 90 | 148.03 | 131.53 | 118.11 | 139.96 | 49.01 | 97.40 |
| 100 | 160.03 | 141.62 | 127.58 | 150.52 | 53.07 | 105.00 |
| 150 | 203.12 | 177.11 | 161.42 | 187.39 | 67.73 | 131.89 |
| 200 | 230.93 | 199.33 | 183.12 | 210.25 | 77.29 | 148.88 |
| 400 | 289.60 | 244.32 | 228.52 | 255.96 | 97.78 | 183.71 |
| 600 | 319.12 | 265.89 | 251.13 | 277.55 | 108.26 | 200.66 |
| 800 | 338.16 | 279.40 | 265.62 | 290.94 | 115.10 | 211.37 |
| 1000 | 351.94 | 288.95 | 276.06 | 300.35 | 120.09 | 219.00 |
| 1200 | 362.59 | 296.21 | 284.10 | 307.46 | 123.97 | 224.82 |
| 1400 | 371.19 | 301.99 | 290.57 | 313.09 | 127.11 | 229.48 |
| 1500 | 374.92 | 304.48 | 293.38 | 315.51 | 128.49 | 231.49 |
| 1600 | 378.35 | 306.75 | 295.95 | 317.71 | 129.75 | 233.32 |
| 1800 | 384.45 | 310.76 | 300.52 | 321.59 | 132.00 | 236.58 |

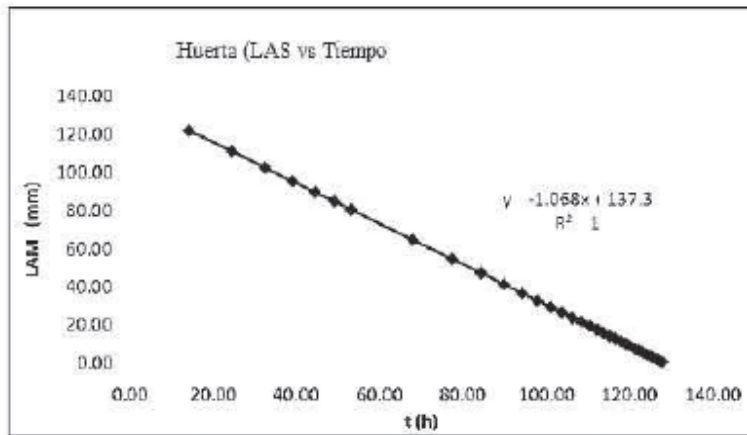
En la tabla N° 3 se presentan el tiempo de riego necesario para suplir la lámina de agua necesaria para mantener el suelo a capacidad de campo, si se tuviera la posibilidad de poder regar toda el área del sistema al tiempo, los cálculos se realizaron a intervalos de presiones cada 200 cm-bares, solo las filas con las casillas sombreadas se encuentra a intervalos diferentes debido a que estas contienen los datos de referencia iniciales del método. Para poder calcular esta lámina se utilizaron datos del requerimiento hídrico calculado para la época más crítica de la zona.

Tabla N° 4. Tiempo Total de Riego según el número de aspersores

| PRESION (CBAR) | EUCALIPTOS | ZONAP | ZONAE | ZONAC | HUERTA | ZONAG | TTR | |
|-------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|----|
| | TR (min) | TR (min) | TR (min) | TR (min) | TR (min) | TR (min) | | |
| 30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| 50 | 836.55 | 1183.30 | 819.82 | 1177.65 | 24.41 | 745.88 | 59.67 | hr |
| 100 | 1800.31 | 2478.40 | 1754.22 | 2446.02 | 53.07 | 1574.96 | 126.26 | hr |
| 200 | 2597.92 | 3488.19 | 2517.94 | 3416.64 | 77.29 | 2233.16 | 179.43 | hr |
| 300 | 2999.12 | 3972.34 | 2898.26 | 3875.03 | 89.69 | 2553.35 | 205.43 | hr |
| 400 | 3258.01 | 4275.53 | 3142.15 | 4159.40 | 97.78 | 2755.69 | 221.92 | hr |
| 500 | 3445.28 | 4490.06 | 3317.75 | 4359.22 | 103.68 | 2899.82 | 233.70 | hr |
| 600 | 3590.05 | 4653.03 | 3453.00 | 4510.18 | 108.26 | 3009.89 | 242.72 | hr |
| 700 | 3706.94 | 4782.73 | 3561.88 | 4629.79 | 111.99 | 3097.87 | 249.94 | hr |
| 800 | 3804.30 | 4889.43 | 3652.34 | 4727.80 | 115.10 | 3170.52 | 255.92 | hr |
| 900 | 3887.29 | 4979.39 | 3729.26 | 4810.15 | 117.77 | 3231.98 | 260.98 | hr |
| 1000 | 3959.29 | 5056.70 | 3795.86 | 4880.71 | 120.09 | 3284.95 | 265.35 | hr |
| 1100 | 4022.66 | 5124.16 | 3854.38 | 4942.12 | 122.14 | 3331.29 | 269.17 | hr |
| 1200 | 4079.09 | 5183.76 | 3906.41 | 4996.23 | 123.97 | 3372.33 | 272.57 | hr |
| 1300 | 4129.84 | 5236.97 | 3953.12 | 5044.44 | 125.61 | 3409.04 | 275.61 | hr |
| 1400 | 4175.84 | 5284.89 | 3995.40 | 5087.76 | 127.11 | 3442.18 | 278.35 | hr |
| 1500 | 4217.84 | 5328.37 | 4033.96 | 5127.00 | 128.49 | 3472.30 | 280.85 | hr |
| 1600 | 4256.41 | 5368.08 | 4069.33 | 5162.76 | 129.75 | 3499.85 | 283.14 | hr |
| 1700 | 4292.04 | 5404.56 | 4101.96 | 5195.56 | 130.92 | 3525.20 | 285.25 | hr |
| 1800 | 4325.09 | 5438.23 | 4132.20 | 5225.78 | 132.00 | 3548.64 | 287.20 | hr |

En la tabla N° 4 se muestra el tiempo de riego total según el número de emisores que pueden ser operados al mismo tiempo a intervalos de presiones cada 100 cm-bares, en el tiempo total de riego que aparece al final de cada fila no se tuvo en cuenta el tiempo de la zona huerta y zona P, puesto que estas no están dentro del sistema de riego por lo que una no posee riego y la otra opera de forma individual.

En caso de que el riego no sea realizado en un día, se debe hacer una corrección por la lámina que se pierde a través del tiempo, en la grafica N°1 se puede observar que la relación de ganancia de lamina a través del tiempo en que se riega es lineal, presentándose una ecuación de esta situación muy confiable, puesto que el coeficiente de regresión es igual a 1.



Gráfica N° 1. Incremento de LAS en el tiempo en Huerta con aplicación del riego.

Todas las zonas presentan graficas de LAS con el tiempo como la anteriormente mostrada, con base en esta característica se validan los datos de la tabla 5.

Tabla N° 5. Condiciones para la zona P

| Para Zona P | | | | | | | | | |
|-------------|-------|----------|--------|----------|-------|------|----------|--------|----------|
| P(cb) | % H | LAS (mm) | TR(hr) | TTR(min) | P(cb) | % H | LAS (mm) | TR(hr) | TTR(min) |
| 10 | 21.81 | 76.53 | 0.00 | 0.00 | 350 | 8.25 | 13.47 | 16.47 | 288.17 |
| 20 | 19.67 | 66.58 | 2.60 | 45.48 | 400 | 7.95 | 12.04 | 16.84 | 294.68 |
| 30 | 18.16 | 59.54 | 4.44 | 77.66 | 450 | 7.68 | 10.80 | 17.16 | 300.35 |
| 40 | 17.01 | 54.19 | 5.83 | 102.10 | 500 | 7.44 | 9.70 | 17.45 | 305.37 |
| 50 | 16.09 | 49.93 | 6.95 | 121.56 | 550 | 7.23 | 8.72 | 17.71 | 309.85 |
| 60 | 15.34 | 46.43 | 7.86 | 137.56 | 600 | 7.04 | 7.84 | 17.94 | 313.88 |
| 70 | 14.70 | 43.47 | 8.63 | 151.06 | 650 | 6.87 | 7.04 | 18.15 | 317.54 |
| 80 | 14.16 | 40.94 | 9.29 | 162.65 | 700 | 6.71 | 6.30 | 18.34 | 320.88 |
| 90 | 12.24 | 32.02 | 11.62 | 203.40 | 750 | 6.57 | 5.63 | 18.51 | 323.95 |
| 100 | 11.04 | 26.43 | 13.08 | 228.92 | 800 | 6.43 | 5.01 | 18.67 | 326.79 |
| 150 | 10.19 | 22.48 | 14.11 | 246.98 | 850 | 6.31 | 4.44 | 18.82 | 329.42 |
| 200 | 9.54 | 19.48 | 14.90 | 260.70 | 900 | 6.19 | 3.90 | 18.96 | 331.86 |
| 250 | 9.03 | 17.09 | 15.52 | 271.62 | 950 | 6.09 | 3.40 | 19.09 | 334.15 |
| 300 | 8.61 | 15.12 | 16.03 | 280.60 | 1000 | 5.99 | 2.93 | 19.22 | 336.29 |
| 350 | 8.25 | 13.47 | 16.47 | 288.17 | | | | | |
| 400 | 7.95 | 12.04 | 16.84 | 294.68 | | | | | |
| 450 | 7.68 | 10.80 | 17.16 | 300.35 | | | | | |

En la tabla 5 es un resumen de todas las características que se pueden conocer de una zona, puesto que todo se encuentra relacionado de una u otra manera, conociendo un parámetro de los mostrados en la tabla No. 5 se podrán conocer los demás, y puesto que las zonas se encuentran relacionadas entre sí, será posibles conocer las condiciones de las demás zonas, aunque la tabla se encuentra tabulada hasta 1000 CBAR, se puede tabular hasta donde se quiera e incluso en intervalos más pequeños o más grandes según se desee. Cada zona tiene una tabla como la tabla No. 5 donde se pueden conocer todos sus parámetros partiendo de cualquiera sin importar.

4. Conclusiones

Es un método de gran utilidad con aplicación en agricultura de precisión, puesto que con este modelo de riego existe la posibilidad de brindarle a las plantas la cantidad de agua en el momento indicado de una manera más aproximada si se compara con el método convencional donde se riega para periodos de tiempo críticos.

Una ventaja y desventaja es la utilización de un solo tensiómetro, puesto que resulta económicamente viable para la puesta en marcha del sistema, pero en caso de que este no funcione, se descalibre o sea robado el sistema podría colapsar, puesto que este es el indicador del momento de riego y la entrada a las tablas que determinan tiempo de riego.

El sistema es sólido siempre y cuando el riego se realice en un día, siempre que una zona requiera riego, todas las zonas deben ser regadas puesto que si no se crearía una descompensación entre la zona huerta y la zona que no fue regada, pudiendo tener lecturas futuras erróneas para dicha zona. Esto puede convertirse en una desventaja si se tienen suelos con alta y baja retención de humedad.

La idea de facilitar el manejo de la herramienta al agricultor no se satisface a cabalidad por la complejidad que ocasionalmente puede resultar la corrección en los tiempos, por tiempos de riegos superiores al día.

Puesto que el sistema se basa en la retención de humedad del suelo y este puede cambiar sus propiedades con el tiempo, debido a la actividad a la cual está sometido y a los efectos naturales, se hace necesario cada 3 años realizar análisis de suelos para replantear la curva característica de humedad del suelo.

5. Referencias Bibliográficas

Cadena, Z, M., Campos, M, S., Cantú, S, M., Zermeño, G, A. 2008. Evaluación de Funciones de Edafotransferencia para Estimar la Curva de Retención de Humedad para Uso en Planeación de Labranza. Universidad Autónoma Chapingo México. Volumen 26., pp 93-102

Hernández, F, M., Muñoz, F, J. 2009. Influencia de las Curvas de Retención de Humedad en la Estimación de la Evaporación de Acuíferos Someros. Estudio en Zona no Saturada del Suelo. Volumen IX. Pontificia Universidad Católica de Chile., pp 01-18.

Martinez, J, G., Fernández, J, M, 1995. Medidas de Curvas de Retención de Humedad en Laboratorio y su Estimación. Avances en la Investigación en Zona no Saturada. Departamento de Geografía, Universidad de Salamanca., pp 193-201.

Rawls, W., D. Brakensiek, and B. Soni. 1983. Agricultural management effects on soil water processes. Part I: Soil water retention and Green and Ampt infiltration parameters. Trans. of the ASAE 26: 1747-1752.

Richards, L, A. 1947. Pressure Membrane Apparatus. Construction and Use. Agricultural Engineering. Volume 28., pp 451-454.

Schaap, M., F. Leij, and M. van Genuchten. 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: 847-855.

Stakman, W. P. 1980. Measuring Soil Moisture. Drainage Principles and Applications. Volumen III. ILRI. Wageninge., pp 221-251

Voltz. M., Goulard, M. 1994. Spatial interpolation of soil moisture retention curves. Geoderma. Volume 43., pp 103-123.

Williams, R., L. Ahuja, and J. Nancy. 1992. Comparison of methods to estimate soil water characteristics from limited texture, bulk density, and limited data. Soil Sci. 153: 172-184.