

05

Fecha de presentación: septiembre, 2019

Fecha de aceptación: noviembre, 2019

Fecha de publicación: diciembre, 2019

DETERMINACIÓN DEL INTERVALO HÍDRICO ÓPTIMO EN UN SUELO INCEPTISOL BANANERO, BAJO SISTEMAS DE RIEGO

DETERMINATION OF THE OPTIMAL WATER INTERVAL IN A BANANA INCEPTISOL SOIL, UNDER IRRIGATION SYSTEMS

Julio Chabla Carrillo¹

E-mail: jecabla@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9761-5890>

Eva Vidal Vazquez¹

E-mail: evavidal@udc.es

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1413-9949>

Salomón Barrezueta Unda¹

E-mail: sabarrezueta@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4147-9284>

Miguel Bustamante León¹

E-mail: mbustamante_est@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7901-1922>

¹ Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Chabla Carrillo, J., Vidal Vazquez, E., Barrezueta Unda, S., & Bustamante León, M. (2019). Determinación del intervalo Hídrico Óptimo en un suelo Inceptisol bananero, bajo sistemas de riego. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 38-44. Recuperado de <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes>.

RESUMEN

El Intervalo Hídrico Óptimo (IHO), rango de agua del suelo dentro del cual el crecimiento de la planta está menos limitado por el potencial de agua, la aireación y la resistencia del suelo a la penetración (RPS) de raíces. El IHO es a menudo determinado en cultivos, pero sus aplicaciones en estudios de plantaciones bananeras son escasas. Con estos antecedentes se planteó los siguientes objetivos determinar la variación del Intervalo hídrico óptimo (IHO) en un suelo Inceptisoles en función del aumento de la densidad y establecer la densidad de suelo crítica, mediante el IHO del suelo. Se seleccionó 3 fincas con sistema de riego suprafoliar y subfoliar ambos con y sin cobertura vegetal. Se efectuó un análisis multifactorial de los datos estableciéndose que existe diferencias significativas en cuanto al IHO con los sistemas de riego suprafoliar y subfoliar. Se determinó el IHO en base a los contenido de humedad a capacidad de campo (Θ_{cc}), el punto de marchitez permanente (Θ_{PMP}), el contenido de humedad a porcentaje de aeración (Θ_{PA}) y el contenido de humedad de la resistencia mecánica a la penetración (Θ_{rmp}) Así mismo respecto a la variable densidad se determinó que no existe diferencia significativas hasta un valor 1.3 g.cm^{-3} a partir de este valor hasta densidad de 1.5 g.cm^{-3} si existe diferencia significativas y en que respecta al tipo de cobertura también presento diferencias significativas del IHO en los suelos con y sin cobertura, se evidencio que las fincas sin cobertura vegetal y sistema de riego suprafoliar el IHO fue menor respecto a los suelos que tenían cobertura.

Palabras clave:

Intervalo hídrico óptimo, Resistencia del suelo, potencial del agua, cobertura vegetal.

ABSTRACT

The Optimum Water Interval (IHO), range of soil water within which plant growth is less limited by water potential, aeration and soil resistance to root penetration (RPS). The IHO is often determined in crops, but its applications in banana plantation studies are scarce. With this background, the following objectives were set to determine the variation of the Optimum Water Interval (IHO) in an Inceptisols soil based on the increase in density and establish the critical soil density, through the soil IHO. Three farms with suprafoliar and subfoliar irrigation system were selected, both with and without vegetation cover. A multifactorial analysis of the data was carried out, establishing that there are significant differences in IHO with the suprafoliar and subfoliar irrigation systems. The IHO was determined based on the moisture content at field capacity (Θ_{cc}), the permanent wilting point (Θ_{PMP}), the moisture content at aeration percentage (Θ_{PA}) and the moisture content of the mechanical resistance to Penetration (Θ_{rmp}) Likewise, with respect to the density variable, it was determined that there is no significant difference up to a value of 1.3 g.cm^{-3} from this value up to a density of 1.5 g.cm^{-3} if there is a significant difference and with respect Type of coverage also showed significant differences in IHO in soils with and without coverage, it was evident that farms without vegetation cover and suprafoliar irrigation system the IHO was lower compared to soils that had coverage.

Keywords:

Optimum water interval, Soil resistance, water potential, vegetation cover.

INTRODUCCIÓN

El Intervalo Hídrico Óptimo (IHO) es el rango de agua del suelo dentro del cual el crecimiento de la planta está menos limitado por el potencial de agua, la aireación y la resistencia del suelo a la penetración de raíces (Damiano & Moschin, 2011).

Pilatti, Orellana, Imhoff & Da Silva (2012), indican que el Intervalo Hídrico Óptimo (IHO) es la fracción de agua edáfica fácilmente utilizable por los cultivos, durante la cual el suelo puede ser penetrado por las

raíces sin mayor resistencia y la aeración no limita la respiración radical. Se establecen como límite superior del IHO a la Θ_{cc} (agua retenida en capacidad de campo) si garantiza una aceptable porosidad de aireación (θ_a); de lo contrario, el límite se alcanza cuando θ_a no restringe la respiración radical. El límite inferior queda determinado por la variable de mayor valor entre θ_{rpm} (contenido hídrico edáfico por debajo del cual las raíces restringen su crecimiento), y θ_{FU} (agua fácilmente utilizable por debajo del cual comienza el estrés hídrico).

Varios estudios han utilizado la IHO en la evaluación de la calidad física del suelo en diferentes sistemas de producción. Por eso, cuando los límites superior o inferior del IHO son definidos por la porosidad de aireación o resistencia a la penetración (RPS), respectivamente, para el reemplazo de la capacidad de campo o punto de marchitez permanente, esto es indicativo del aumento de la degradación física del suelo y refleja la disminución de la disponibilidad de agua para las plantas. Además, la densidad crítica del suelo (D_{sc}), que es un valor de la D_s en que el $IHO = 0$, puede ser utilizada como un indicador de la calidad estructural del suelo, habiendo indicios de severa degradación cuando $D_s > D_{sc}$, pudiendo restringirla (Henrique, et al., 2014).

Un suelo con propiedades adecuadas, prevé condiciones físicas que le permitan a los cultivos un adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas (Tormena, Da Silva & Libardi, 1998). Estas condiciones pueden afectar a los cultivos desde la etapa de germinación hasta la cosecha Letey (1985); Pilatti & De Orellana (1993); Da Silva, Kay & Perfect (1994), han tratado de explicar el efecto de las condiciones físicas, a través de la influencia del agua del suelo, sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos. De ahí la importancia de la disponibilidad del agua, la porosidad, la temperatura y la resistencia mecánica que presentan los suelos a la penetración del sistema radicular son de vital importancia y de ahí que Da Silva, et al. (1994); y De Orellana, Pilatti & Grenón (1997), proponen el término de intervalo hídrico óptimo (IHO), como un indicador que integra a las variables antes señaladas.

Valadão (2014), las propiedades físicas que tienen su efecto en el IHO, también inciden en la compactación

del suelo, provocando una disminución de la macro porosidad o pérdida de la microporosidad y su efecto en la presencia de capas o estratos endurecidos dentro del perfil del suelo. Considerando siempre que el porcentaje de aireación mínima debe ser de por lo menos un 10% para no afectar el desarrollo radicular y por ende a la producción y valores de la resistencia mecánica a la penetración inferiores a 2MPa. Que en el caso del cultivo de banano este valor no debe ser superior a 1MPa. Para evitar el necrosamiento del sistema radicular.

La resistencia mecánica a la penetración (RPS), medida a través del penetrometro digital es la resistencia que ofrece un suelo a ser atravesado, su valor depende de factores intrínsecos como la porosidad, textura, densidad contenido de materia orgánica, contenidos hídricos y de factores extrínsecos con el efecto de uso del suelo y maquinarias (Fernández, 1997).

Serafim, et al. (2013), los factores que integran el IHO, es la humedad en que la resistencia de la penetración del suelo es 2 MPa, es la propiedad que más frecuentemente reduce el IHO. La capacidad de campo (CC) es el factor más limitante en el límite superior de la humedad en el límite inferior es el punto de marchitez permanente (PMP), sin ninguna acción de la resistencia a la penetración, mientras que la penetración de los valores, secar densidad aparente baja (menos de $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$), el factor limitante es el PMP. Por lo tanto, la PA y RPS son las propiedades que varían más con los cambios en la densidad del suelo.

Las interacciones entre la resistencia a la penetración del suelo (RPS), la disponibilidad del agua y la aireación del suelo son cruciales para el crecimiento de las plantas. Un intervalo hídrico óptimo (IHO) integra, en un único indicador, atributos físicos directamente involucrados en los procesos fisiológicos relacionado con el crecimiento de las plantas, es decir, define el rango de contenido de agua (θ) en la limitación del crecimiento de las plantas, debido a la disponibilidad agua, la aireación y la RPS, para una densidad dada del suelo (D_s), son minimizadas, constituyendo un moderno indicador de la calidad física del suelo. Los suelos con buena calidad física presentan más frecuentemente valores de θ entre los límites superior e inferior de IHO (Henrique, et al., 2014).

El contenido volumétrico del agua en el suelo (Θ_v), variables de acuerdo a sus texturas, le permite dinamizar los procesos de la relación agua -suelo -planta, en definitiva, el movimiento agua, del complejo sistema suelo. En algunos momentos con un exceso de agua en el suelo, ocupando todo el espacio porosos y por lo tanto asfixia del sistema radicular y en otras ocasiones déficit hídrico que conlleva a un estrés hídrico, situaciones extremas que provocan reducción de la masa radicular y por tanto disminución de la producción.

La gestión del agua en los sistemas de riego debe ser efectuada de forma que controle el potencial del agua en el suelo (Ψ), permitiendo a los cultivos expresar su potencial genético de productividad. La definición de momento de riego debe ser basada en técnicas que determinen en que condición las plantas sufren restricciones. El control de Ψ es el método más difundido y de mayor simplicidad para mantener el contenido de agua en el suelo (θ) dentro de un rango adecuado para el crecimiento y el desarrollo plantas (Blainski, Folegatti, Tormena, Muylaert & Andrade, 2009).

Mestas (2011), indica que se han desarrollado unas series de métodos y equipos que permiten determinar el contenido de humedad del suelo en forma indirecta, siendo necesario una curva de calibración que permita pasar el valor obtenido contenido en agua existente en un suelo.

De los antecedentes señalados, urge la necesidad de la determinación de los niveles críticos de densidad del suelo (δ_s), que permitirá conocer las condiciones de estructura del suelo y cuál sería su capacidad productiva. Existen diversos autores que señalan procesos para la determinación de la densidad crítica del suelo (δ_{sc}) (Venanzi, et al., 2002).

Griffith, et al. (1977), determinaron valores críticos de densidad de 1.7 g.cm⁻³ para suelos de texturas arenosas, y de 1.4 a 1.5 g.cm⁻³ para suelos de texturas franco – arcillo- limosos. Así mismo, Imhoff, Da Silva, Días Junior & Tormena (2001), definieron a la δ_{sc} como aquella δ_s en donde se cortan las curvas de capacidad de campo y punto de marchitez permanente a distintas densidades y IHO = 0. Este nuevo concepto resulta ser muy interesante porque resume los diversos aspectos del suelo que están incidiendo en la productividad.

Granton, Benavides, Valenti & Arevalo (1998), indican que de acuerdo a las características de las arcillas que pueden tener los suelos, es más apropiado trabajar con muestras no disturbadas, así mismo señalan que para determinaciones a altas succiones es necesario la permanencia de las muestras durante el ensayo un tiempo prolongado, en algunos casos hasta 20 días.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en predios comerciales destinados a la explotación de banano (*Musa sp*) variedad Cavendish. Las áreas experimentales se ubicaron en el sitio La Unión en la cuenca inferior del río Puyango provincia de El Oro lo cual se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Ubicación de los predios.

Predio	Longitud	Latitud
El Cisne	3° 17' 39" S	79° 52' 47" W
La Fátima	3° 17' 44" S	79° 52' 42" W

El Carmen 3° 18' 02" S 79° 51' 58" W

Por su ubicación geográfica los predios comparten iguales condiciones climáticas y ecológicas, obteniendo un índice hídrico sub húmedo, con déficit en época seca acompañado de un régimen térmico cálido, constituido en una zona de vida de un bosque muy seco tropical (b.m.s.T), con isotermas de 25 a 26°C e isoyetas de 500 a 750 mm anuales (Ecuador. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2011; Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología, 2008).



Figura 1. Mapa de ubicación de los predios de investigación.

Factores y niveles de estudio

Se estudió como factor al riego (subfoliar y suprafoliar), la profundidad de muestreo (0-10, 10-20, 20-30 y 40-50 cm) y la cobertura (Con cobertura y sin cobertura) como lo indica la Tabla 2.

Tabla 2. Tratamientos y bloques en estudio.

Cobertura	Sistema de riego	Predio
Sin cobertura	Suprafoliar	El Carmen
Con cobertura	Suprafoliar	El Cisne
Sin Cobertura	Subfoliar	La Fátima
Con cobertura	Subfoliar	El Cisne

Muestreo y determinaciones

Se utilizaron 60 cilindros de hierro galvanizado de 5.7 cm de diámetro y 5 cm de alto, para la toma de las muestras de suelo en las diversas capas del perfil del suelo cada 10 cms de profundidad, sin disturbar en las fincas seleccionadas con y sin cobertura vegetal y sistemas de riego subfoliar y suprafoliar, para analizar las propiedades físicas y químicas del suelo como: el pH, Arcilla, Arena, Limo, Capacidad de campo (CC), Punto de marchitez permanente (PMP), d_a = densidad aparente (g.cm⁻³), d_r = Densidad Real (g.cm⁻³), P_t = Porosidad total(%)

Para Determinar el IHO en cada cilindro se realizará la comprensión de las muestras (secas y tamizadas a 2mm) con una prensa por capas, para asegurar la homogeneidad de la densidad de suelo (δ_s) lograda

Se sometieron a 5 grados de compactación, para obtener densidades de suelo de 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5 g.cm⁻³ variando el peso seco por unidad de volumen. Posteriormente se sometieron a saturación las muestras por más de 24 horas y luego con el equipo de sección y las membranas de Richards, ollas de presión se determinarán las constantes hidrofísicas: Capacidad de campo (CC) a -33 Kpa y Punto de Marchitez Permanente (PMP), a -1500 Kpa. Se tomó δ_{sf} , para expresar los datos volumétricamente (δ_{cc} y δ_{pmp}), manteniendo por pesada hasta el final del ensayo y por diferencia de pesos los diversos contenidos de humedad a esas tensiones.

Al inicio, luego del primer humedecimiento y al finalizar el ensayo se medirá la altura de las columnas del suelo para estimar el cambio volumétrico y en consecuencia cambios en la δ_s , tomando la densidad del suelo final (δ_{sf}).

Con un penetrometro digital, se midió la resistencia mecánica a la penetración a una profundidad de 2.5 cm desde el borde superior del cilindro.

Se determinó la densidad real δ_{real} y la δ_s de cada muestra, se calculó la porosidad total, considerando igual contenido hídrico a saturación (Θ_s), para determinar el contenido hídrico relativo (Θ_r) de cada medición de la resistencia mecánica a la penetración (RMP) y así los coeficientes de la ecuación potencial.

$$- RPS = a (\Theta/\Theta_s)^b$$

Se determinará el IHO para cada tratamiento de acuerdo a Da Silva et al., (1994). Cuando la RPS = 2 MPa Θ_{cc} y $\Theta_{pmp} = \Theta$ a CC y PMP.

Para cada Θ_s , el límite superior del IHO se considerará al menor valor Θ_s o Θ_{cc} mientras que el límite inferior estará determinado por el mayor valor entre Θ_{rmp} y Θ_{pmp} .

Análisis estadístico de los datos.

Para evaluar la fiabilidad de los datos se realizó un análisis multifactorial de las varianzas del IHO procedentes de los distintos bloques de riego con el objetivo de cuantificar cuál de los factores inciden directamente sobre la variable evaluada. En los casos que presentaron significancias, se realizó un test de Tukey al 95% de confiabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del IHO en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P probaron la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que los valores de P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre IHO con un 95.0% de nivel de confianza, se pudo observar que existe

interacción estadística de los factores cobertura con densidad (AxB) y cobertura con riego (AxC) esto debido a que los suelos procedentes de sitios con abundante material orgánico modifican su estructura logrando mayor retención hídrica. Por otra parte, no existe interacción entre factor sistema de riego, con el factor densidad

Tabla 3. Análisis de varianza multifactorial para los factores incidentes en el intervalo hídrico óptimo.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Ra-zón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Cobertura	0.007	1.000	0.007	72.190	0.001
B:Densidad	0.033	4.000	0.008	85.100	0.001
C:Riego	0.001	1.000	0.001	8.370	0.045
INTERACCIONES					
AB	0.008	4.000	0.002	19.930	0.007
AC	0.001	1.000	0.001	10.590	0.031
BC	0.000	4.000	0.000	0.880	0.547
RESIDUOS	0.000	4.000	0.000		
TOTAL (CORREGIDO)	0.051	19.000			

Esta tabla 4 aplica se aplica un procedimiento de comparación múltiple, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. En relación al factor densidad se puede evidenciar que existe una alta significancia estadístico formando tres grupos, cuyas densidades de 1.1;1.2; 1.3 g.cm⁻³ son iguales formando el primer grupo con letra a, mientras que 1.4 (b) y 1.5 (c) g.cm⁻³ forman el segundo y tercer grupo respectivamente de significancia, por otra parte, respecto a los sistemas de riegos presurizados existen diferencia estadística entre ambos al igual que el factor cobertura vegetal.

Tabla 4. Pruebas de Múltiple Rangos para IHO por medio de Tukey al 95% de confiabilidad.

IHO cm ³ cm ⁻³								
Riego	Cobertura	Densidad aparente g.cm ⁻¹					Cobertura	Riego
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5		
Supraf	Con cob.	0.16	0.18	0.17	0.11	0.00	0.12 a	0.10 a
	Sin cob.	0.08	0.09	0.09	0.07	0.03	0.07 b	

Subf	Con cob.	0.15	0.18	0.16	0.10	0.02	0.12 a	0.11 b
	Sin Cob.	0.12	0.12	0.10	0.08	0.06	0.10 b	
Promedio		0.13a	0.14a	0.13a	0.09b	0.03c	0.10	0.10

Cob: Cobertura; Supraf: suprafoliar; Subf: subfoliar

En los suelos analizados, el IHO es bastante sensible a la variación de la densidad del suelo (D_s). Los cuatro contenidos de humedad que resultan limitantes en la determinación del IHO fueron: a) La humedad del suelo a capacidad de campo (Θ_{cc}), b) la humedad del suelo a Θ_{PMP} , c) la humedad del suelo equivalente a Resistencia a Penetración igual a 2 Mpa, aunque algunos autores señalan 1,5Mpa Θ_{rpm} y d) la humedad del suelo equivalente a porosidad de aireación Θ_{PA} .

La variación de la densidad del suelo (D_s) tiene un pequeño impacto en Θ_{cc} y Θ_{PMP} , y su diferencia viene dado como agua disponible (AD) = ($\Theta_{cc} - \Theta_{PMP}$). La Θ_{cc} y Θ_{PMP} correlacionaron positivamente con la densidad del suelo, con valores de $R^2 = 0,986 = 0,249 = 0,949 = 0,707$ para los suelos con sistemas de riego subfoliar y suprafoliar sin cobertura y subfoliar y suprafoliar con cobertura vegetal respectivamente y el Θ_{PMP} con D_s , también correlaciono positivamente pero con valores más bajos de $R^2 = 0,595 = 0,026 = 0,04 = 0,320$ en el mismo orden de los sistema y tipo de coberturas señalados, en los suelos que presentaron texturas franco limosos a francos arenosas.

En fincas con sistema de riego suprafoliar con cobertura tabla 5, fig.2, el límite superior es Θ_{cc} y el inferior Θ_{PMP} , cuando la $D_s \leq 1,31 \text{ g.cm}^{-3}$, en suelo con textura franco arenosa. Por otro lado, Θ_{PA} sustituye a Θ_{cc} como límite superior y Θ_{rpm} sustituye a Θ_{PMP} como límite inferior, cuando la densidad del suelo $D_s > 1,32 \text{ g.cm}^{-3}$ hasta una densidad crítica (δ_{sc}) igual a $1,50 \text{ g.cm}^{-3}$ donde IHO = 0. En las fincas con sistemas de riego subfoliar y cobertura vegetal tabla 6, fig. 3, al igual que el suprafoliar la $D_s \leq 1,24 \text{ g.cm}^{-3}$ el límite superior es Θ_{cc} y el inferior es Θ_{PMP} . En cambio, cuando $1,24 \text{ g.cm}^{-3} < D_s \leq 1,37 \text{ g.cm}^{-3}$, el límite superior de IHO es Θ_{PA} y el límite inferior es Θ_{rpm} . Para valores de $D_s > 1,37 \text{ g.cm}^{-3}$, el límite superior sigue Θ_{PA} y el límite inferior es Θ_{rpm} . Las limitaciones convergen en D_s de $1,56 \text{ g.cm}^{-3}$ y el IHO fue considerado como cero.

Tabla 5. Determinación del intervalo hídrico óptimo en los suelos con cobertura vegetal, riego suprafoliar.

Densidad aparente	Porosidad de aireación	Capacidad de campo	Punto de marchitez permanente	Resistencia a la penetración	IHO
g.cm^{-1}	θ_a	Θ_{cc}	θ_{pmp}	θ_{rpm}	$\text{cm}^{-3}\text{cm}^{-3}$
1,1	0,485	0,412	0,250	0,175	0,162
1,2	0,447	0,421	0,242	0,205	0,179
1,3	0,409	0,414	0,244	0,234	0,165
1,4	0,372	0,401	0,250	0,266	0,106
1,5	0,334	0,385	0,234	0,333	0,001

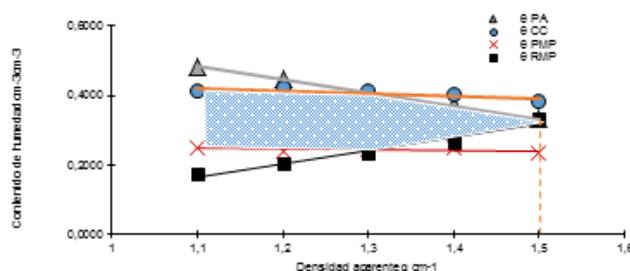


Figura 2. Representación gráfica del Intervalo Hídrico Óptimo de los suelos de la Finca El Cisne, con cobertura vegetal y riego Suprafoliar.

El aumento de la D_s coincide con la disminución del Θ_{PA} para los suelos de las fincas con diversos sistemas de riego con o sin cobertura. La Θ_{PA} sustituye Θ_{cc} , como factor limitante en suelo de textura media, cuando la $D_s > 1,35 \text{ g.cm}^{-3}$. Por otro lado, Θ_{rpm} sustituye a Θ_{PMP} como factor limitante, cuando la $D_s > 1,37 \text{ g.cm}^{-3}$. En suelo con textura media el IHO fue definida por Θ_{PA} y Θ_{rpm} en la mayoría de los valores de D_s medidos. Las limitaciones convergen en D_s de $1,56 \text{ g.cm}^{-3}$ y el IHO fue considerado como cero.

Tabla 6. Determinación del intervalo hídrico óptimo en los suelos con cobertura vegetal, riego subfoliar.

Densidad aparente	Porosidad de aireación	Capacidad de campo	Punto de marchitez permanente	Resistencia a la penetración	IHO
g.cm^{-1}	θ_a	Θ_{cc}	θ_{pmp}	θ_{rpm}	$\text{cm}^{-3}\text{cm}^{-3}$
1,1	0,485	0,445	0,294	0,189	0,151
1,2	0,447	0,442	0,265	0,236	0,177
1,3	0,409	0,424	0,253	0,249	0,156
1,4	0,372	0,402	0,312	0,274	0,098
1,5	0,334	0,396	0,286	0,357	0,023

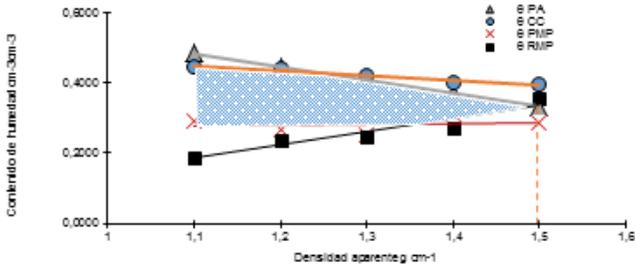


Figura 3. Representación gráfica del Intervalo Hídrico Óptimo de los suelos de la Finca El Cisne, con cobertura vegetal y riego Subfoliar.

En cambio, en los suelos con sistemas suprafoliar, sin cobertura vegetal (tabla 7, fig.4) el agua disponible para la planta e igual al intervalo hídrico óptimo su contenido volumétrico es más reducido obteniéndose para una $D_s \leq 1,37 \text{ g.cm}^{-3}$, el límite superior es Θ_{cc} y el inferior es Θ_{PMP} ; para $D_s > 1,37 \text{ g.cm}^{-3}$, el límite superior se mantiene Θ_{cc} y cambia el límite inferior a Θ_{PMP} . En la finca con sistema de riego subfoliar sin cobertura (tabla 41 fig.50) el IHO tiene como límite superior el Θ_{cc} y el inferior a Θ_{PMP} hasta una $D_s \leq 1,35 \text{ g.cm}^{-3}$. Cuando la $D_s \geq 1,43 \text{ g.cm}^{-3}$, el límite superior de Θ_{cc} es sustituido por Θ_{PA} y el inferior es Θ_{RMP} y cuando la $D_s > 1,5$ el IHO = 0.

Tabla 7. Determinación del intervalo hídrico óptimo en los suelos sin cobertura vegetal, riego suprafoliar.

Densidad aparente	Porosidad de aireación	Capacidad de campo	Punto de marchitez permanente	Resistencia a la penetración	IHO
g.cm-1	θ_a	Θ_{cc}	θ_{rpm}	θ_{rpm}	cm-3cm-3
1,1	0,485	0,316	0,239	0,124	0,077
1,2	0,447	0,326	0,238	0,151	0,088
1,3	0,409	0,320	0,232	0,176	0,088
1,4	0,372	0,313	0,246	0,247	0,066
1,5	0,334	0,338	0,232	0,300	0,034

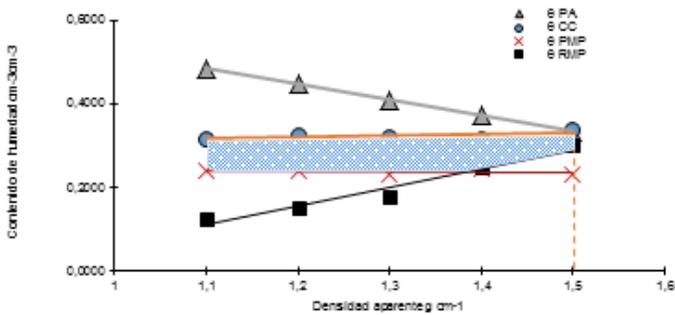


Figura 4. Representación gráfica del Intervalo Hídrico Óptimo de los suelos de la Finca El Carmen, sin cobertura vegetal y riego Suprafoliar.

En el suelo con cobertura vegetal el IHO fue definido por Θ_{cc} y Θ_{PMP} cuando $D_s \leq 1,3 \text{ g.cm}^{-3}$. A mayores

densidades del suelo, Θ_{RMP} , sustituye a Θ_{PMP} como límite inferior y Θ_{PA} sustituye a Θ_{cc} . En suelos sin cobertura vegetal con los tipos de sistemas de riego para valores de $D_s \leq 1,37 \text{ g.cm}^{-3}$, el límite superior e inferior de IHO es Θ_{cc} y Θ_{PMP} respectivamente y a mayor densidad del suelo de $1,37 \text{ g.cm}^{-3}$, la Θ_{PA} y Θ_{RMP} , sustituyen a los señalados.

La incorporación de aireación del suelo, la resistencia del suelo a la penetración en la definición del IHO para el crecimiento de plantas resulto un parámetro más sensible a cambios en la estructura del suelo que el agua disponible. Para los suelos con cobertura vegetal y sistemas de riego subfoliar y suprafoliar el IHO varía de 0 a $0,162 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, mientras que el agua disponible vario a medida que varía la densidad del suelo En el suelo sin cobertura vegetal el IHO desde $0,034$ a $0,077 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$., mientras que los valores del agua disponible variaron a medida que aumenta la densidad del suelo a valores más pequeños.

Se puede señalar, que el IHO fue más sensible a las variaciones de la estructura del suelo que el agua disponible, reflejando mejor la calidad física del suelo. La importancia de la resistencia a la penetración en la limitación del IHO corrobora con los resultados presentados por da Silva et al. (1994).

Tabla 8. Determinación del intervalo hídrico óptimo en los suelos sin cobertura vegetal, riego subfoliar.

Densidad aparente	Porosidad de aireación	Capacidad de campo	Punto de marchitez permanente	Resistencia a la penetración	IHO
g.cm-1	θ_a	Θ_{cc}	θ_{rpm}	θ_{rpm}	cm-3cm-3
1,1	0,485	0,403	0,279	0,180	0,124
1,2	0,447	0,397	0,276	0,208	0,121
1,3	0,409	0,389	0,288	0,220	0,101
1,4	0,372	0,381	0,289	0,265	0,083
1,5	0,334	0,379	0,287	0,328	0,060

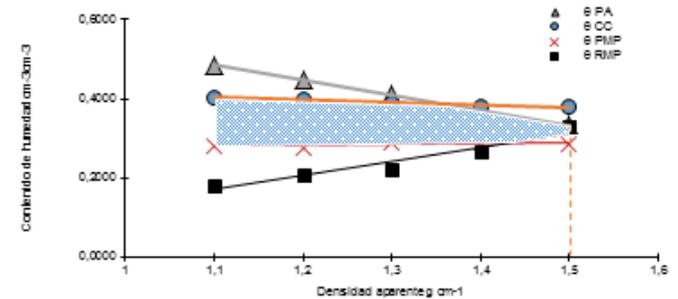


Figura 5. Representación gráfica del Intervalo Hídrico Óptimo de los suelos de la Finca La Fátima, sin cobertura vegetal y riego Subfoliar.

CONCLUSIONES

El IHO fue mayor en los suelos con cobertura vegetal y sistemas de riego suprafoliar y subfoliar, respecto a los suelos sin cobertura vegetal.

La densidad crítica del suelo fue de $(dscIHO) = 1,5 \text{ g.cm}^{-3}$ en las fincas con suelos francos arenosos y franco limosos determinada en el punto donde el IHO = 0 y por lo tanto representa condiciones restrictivas para el crecimiento de la planta.

El límite superior del IHO estuvo marcado por Θ_{cc} en densidades de suelo de 1,1 hasta $1,35 \text{ g.cm}^{-3}$ para los suelos con cobertura vegetal y los dos sistemas de riego y el límite inferior Θ_{PMP} , para mayores densidades el límite superior es Θ_{PA} y el límite inferior Θ_{RMP} para suprafoliar y Θ_{PMP} para subfoliar con cobertura.

El límite superior del IHO es Θ_{cc} en densidades de suelo de 1,1 a $1,37 \text{ g.cm}^{-3}$ para los suelos de las fincas sin cobertura vegetal y los dos sistemas de riego y como límite inferior el Θ_{PMP} y para valores mayores a $1,37 \text{ g.cm}^{-3}$ el límite superior es Θ_{PA} y límite inferior es Θ_{rpm} .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blainski, E., Folegatti, M., Tormena, C., Muylaert, R., & Andrade, A. (2009). Intervalo hídrico ótimo núm. nitossolo vermelho distroférrico irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 273-281. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1802/180214232005.pdf>

Da Silva, A. P., Kay, B. D., & Perfect, E. (1994). Characterization of the Least Limiting. *Water Range of Solis. Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58(6), 1775-1781. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9534388>

Damiano, F., & Moschin, R. (2011). Intervalo hídrico ótimo en suelos argiudoles plantados con *Eucalyptus dunnii* MAIDEN. *Ciencia del suelo*, 29(1), 1-11. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-damiano.pdf>

Granton, M., Benavides, R., Valenti, R., & Arevalo, E. (1998). Características hídricas. Método de Laboratorio y estimaciones: su evaluación y aplicaciones para suelos de Entre Ríos. XVI Congreso Argentino de la Ciencia de Suelos. Villa Carlos Paz.

Imhoff, S., Da Silva, A .P., Días Junior, M., & Tormena, C.A. (2001). Quantificacao de pressoes críticas o crecimiento das plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, 25(1), 11-18. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n1/02.pdf>

Letey J. (1985). Relationship between soil physical properties and crop production. En, B. A. Stewart, *Advances in soil Science. Volume I.* (Pp. 277-294). Springer- Vertag New York: Inc.

Mestas, R. (2011). Régimen hídrico del suelo y evapotranspiración en áreas agrícolas y forestales. (Tesis Doctoral). La Coruña: Universidad Da Coruña.

De Orellana, J., Pilatti, M. A., & Grenón, D. (1997). Soil quality: An approach to physical state assessment. *Journal of sustainable agriculture*. The Haworth Press, Inc, 9, 91-108.

Pilatti, M. A., & De Orellana, J. (1993). Posibles indicadores edáficos de sostenibilidad. II: El intervalo hídrico óptimo. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mendoza.

Pilatti, M., Orellana, J., Imhoff, S., & Da Silva, A. (2012). Actualización de los límites críticos del intervalo hídrico óptimo. *Ciencia del suelo*, 30(1), 9-21. Recuperado de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/84814/CONICET_Digital_Nro.8224aa60-c266-49d4-b621-3e6a4c049a82_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Serafim, M., De Oliveira, G., Vitorino, A., Montoani, B., & Carducci, C. (2013). Qualidade física e intervalo hídrico ótimo em latossolo e cambissolo, cultivados com cafeeiro, sob manejo conservacionista do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(3), -742. Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000300020

Tormena, C. A., Da Silva, A.P., & Libardi, P.L. (1998). Caracterizacao do intervalo hídrico ótimo de un latossolo roxo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22(4), 573-581. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v22n4/02.pdf>

Valadão, S. E. (2014). Intervalo hídrico optimo del suelo y estado de humedad de las plantas en sistemas integrado de producción agrícola y pecuaria en el subtropico de Brasil. *Rio Grande do Sul: Universidad Federal de Rio Grande Do Sul.*