



CAPITULO 3

Fracción de Agua No Limitante para el Cultivo del Maíz

Alejandro Antúnez B.
Ing. Agrónomo, Ph.D
aantunezb@inia.cl
INIA La Platina

Sofía Felmer E.
Ing. Agrónomo

Marcelo Vidal S.
Ing. Agrónomo

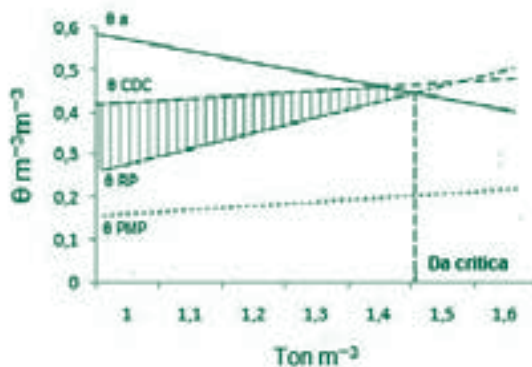
Patrick Mac Kinnon del P.
Ing. Ejecución Agrícola
INIA Rayentué

3.1 Fracción de Agua No Limitante

La Fracción de Agua No Limitante (LLWR, del inglés non-limiting water range) es el contenido de agua que no afecta al crecimiento radical, y está representado por un límite superior e inferior de agua fácilmente aprovechable por las raíces. El límite superior está representado por el contenido mínimo de aire del perfil que permita el normal desarrollo de raíces. Se ha establecido que la mínima porción de aire en el suelo permitiendo el crecimiento de raíces es del 11%, aunque algunos cultivos que manifiestan asfisia radical por falta de oxígeno en el perfil de suelo, son sensibles en un rango entre 15 y 25% de aireación.

El límite inferior, está representado por la resistencia máxima que la raíz de un cultivo es capaz de tolerar para crecer y desarrollarse. De esta forma, a medida que el suelo se va secando, la resistencia a la penetración del suelo aumenta, a tal punto que dificulta el crecimiento radical, siendo este valor cercano a 2 MPa o superior en especies más tolerantes, y también según la cantidad de arcilla que posea el suelo.

La Figura 9, muestra la gráfica referencial de la Fracción de Agua No Limitante



(Adaptado de: Da Silva, Kay y Perfect, 1994)

Figura 9. Representación gráfica de la Fracción de Agua No Limitante (LLWR) a diferentes densidades de suelo. (Adaptado de Da Silva, Kay y Perfect 1994).

La Figura 9, representa el esquema gráfico del LLWR, comprendido en el área achurada. Se observa, la disminución de la amplitud del LLWR al aumentar D_a (Densidad aparente), hasta llegar a un valor de cero, llamado D_a crítica (con una D_a de $1,45 \text{ Ton m}^{-3}$), donde el límite superior e inferior se interceptan. El límite superior corresponde a θ_{CDC} (contenido volumétrico de agua en el suelo a capacidad de campo) hasta que es interceptada por θ_a (contenido volumétrico de agua en el suelo con un 11% de poros con aire). Esto a una D_a aproximada de $1,4 \text{ Ton m}^{-3}$, y el límite inferior corresponde a θ_{RP} (contenido volumétrico de agua en el suelo a resistencia a la penetración equivalente a $2,0 \text{ MPa}$ en este trabajo). La curva θ_{PMP} (contenido de agua del suelo a punto de marchitez permanente) no tiene ninguna incidencia en la determinación del LLWR.

Un suelo con condiciones físicas pobres, requiere un cuidadoso manejo para no restringir el desarrollo de los cultivos. Estos suelos, generalmente poseen un rango estrecho de LLWR, al contrario de un suelo con buena calidad física, que requiere un manejo menos estricto para lograr obtener un buen crecimiento y desarrollo de los cultivos, el cual generalmente ostentará un amplio LLWR. Así, cada suelo presentará su propio LLWR, de acuerdo a sus características físico-hídricas, el que puede afectarse en el tiempo de acuerdo a sus condiciones de manejo.

Siendo el LLWR un reflejo de la disponibilidad de agua fácilmente aprovechable por las plantas en un determinado tipo de suelo, el concepto puede ser empleado no sólo como un indicador de calidad de un suelo. También, puede serlo como un parámetro fundamental para realizar programaciones de riego, buscando siempre mantener la humedad del suelo dentro de los límites del LLWR.

3.2 Factores que modifican la Fracción de Agua No Limitante

3.2.1 Propiedades físicas del suelo

La densidad aparente es el parámetro más importante para determinar el LLWR. Da Silva, Kay y Perfect (1994), proponen el estudio del LLWR de los suelos a partir de la relación de la curva de retención de agua, curva de resistencia a la penetración y el valor de D_a crítica en que el LLWR es igual a cero. Por consiguiente, hasta la actualidad, la D_a representa un parámetro fundamental para calcular este rango óptimo de agua en el suelo.

Un aumento de la D_a implica también el incremento de la compactación del suelo, perdiendo macro-porosidad, endureciéndose de los horizontes y por lo tanto, un deterioro de las propiedades físicas del suelo. De esta forma, se genera un efecto adverso sobre el crecimiento de las plantas, porque la resistencia a la penetración de las raíces en el suelo aumenta drásticamente en respuesta a una reducción del LLWR.

El LLWR comienza a verse afectado a partir de valores de D_a de entre 1,2 a 1,3 g cm⁻³ (según textura de suelo, desde arcilloso a arenoso respectivamente), en cuanto al nivel inferior, sin que afecte al nivel superior.

El contenido de agua en el suelo a una aireación adecuada y resistencia a la penetración del suelo, es más afectado por la D_a que por el contenido de agua en el suelo entre θ_{CC} y θ_{PMP} .

También el LLWR es fuertemente dependiente de la cantidad de arcilla, materia orgánica y labranza, que condicionan la estructuración del suelo. La cantidad de materia orgánica presente en el suelo, determina la amplitud de los límites del LLWR.

3.2.2 Manejo agronómico

El LLWR es más sensible a los cambios estructurales del suelo que al agua disponible. De esta forma, el LLWR de un suelo determinado, puede afectarse según el manejo de labranza que se le haga a un cultivo.

El manejo de la labranza y preparación del suelo tienen gran impacto en los índices de LLWR. En suelos arcillosos, el LLWR es mayor en el suelo con labranza convencional que en el sistema cero labranza, donde el límite inferior del LLWR se altera de manera significativa, por la mayor resistencia a la penetración del suelo bajo cero labranza.

Fracción de agua no limitante para el crecimiento radical del maíz en cinco suelos de la Región de O'Higgins.

El estudio se realizó en cinco suelos de la Región de O'Higgins (Cuadro 15).

Cuadro 15. Comuna y Localidad de los sitios estudiados.

Comuna	Localidad
Pichidegua	Santa Amelia
Graneros	Santa Julia
San Fernando	El Carmen
Quinta de Tilcoco	Quinta de Tilcoco
Chépica	Las Arañas

Los suelos en estudio abarcaron una diversidad textural importante, siendo representativos de los suelos cultivados con maíz en región.

En el Cuadro 16, se presenta la proporción de los separados texturales y propiedades físicas de los suelos estudiados.

Cuadro 16. Proporción de separados texturales y propiedades físico hídricas de los suelos estudiados en los primeros 20 cm de profundidad.

Localidad	% Arena	% Limo	% Arcilla	% M.O.	pH	CDC in situ $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$	PMP $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$
Santa Amelia	66,23	18,13	15,63	1,8	7,2	0,21	0,09
Santa Julia	14,2	51,33	34,47	1,8	6,3	0,28	0,22
El Carmen	49,6	38,97	11,43	1,5	6,7	0,16	0,08
Quinta de Tilcoco	22,2	38,6	39,2	3,2	6,5	0,28	0,14
Las Arañas	18,87	44,77	36,37	2,3	6,2	0,40	0,18

3.2.3 Determinación de la Fracción de Agua No Limitante

A partir de la integración de las curvas θ_r - RP con el límite superior θ_{ap} (contenido volumétrico de agua en el suelo con un 15% capacidad gaseosa) e inferior θ_{RP} (contenido de agua en el suelo con resistencia a la penetración crítica según % de arcilla), definidos para cada suelo, se graficó la relación entre la D_a y θ_v destacando en color sombreado el LLWR.

A continuación se presenta la Fracción de Agua no Limitante utilizando una θ_{RP} crítica según el porcentaje de arcilla de cada suelo de los predios en estudio.

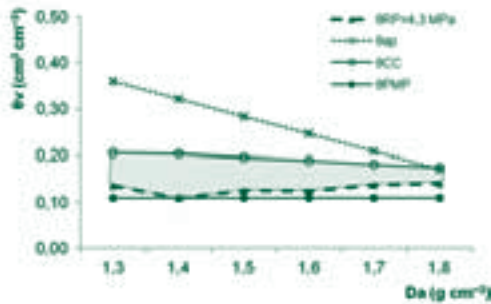


Figura 11. Fracción de Agua No Limitante del predio Quinta de Tilcoco.

El sitio Quinta de Tilcoco, en el rango de D_a entre $1,1\ g\ cm^{-3}$ y $1,2\ g\ cm^{-3}$, el límite superior del LLWR está definido por θ_{CDC} , mientras que en D_a $1,2$ y $1,5\ g\ cm^{-3}$, el θ_{ap} define el límite superior. El límite inferior del LLWR en el rango de D_a entre $1,1\ g\ cm^{-3}$ y $1,4\ g\ cm^{-3}$, está definido por θ_{MP} , mientras que a D_a mayores a $1,4\ g\ cm^{-3}$ el LLWR se restringe por θ_{RP} .

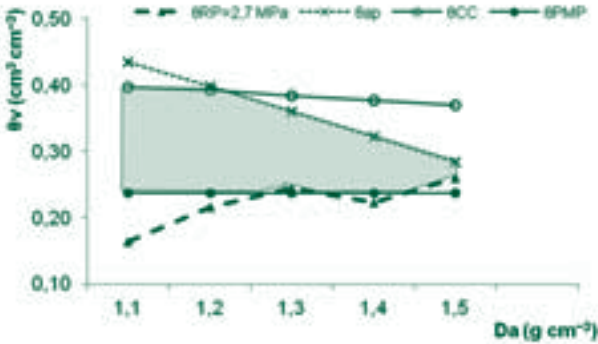


Figura 12. Fracción de Agua No Limitante del predio Santa Julia.

En el sitio Santa Julia, en el rango de D_a entre $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ y $1,6 \text{ g cm}^{-3}$, el límite superior del LLWR está definido por θ_{ap} . El límite inferior del LLWR en el rango de D_a entre $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ y $1,5 \text{ g cm}^{-3}$, está definido por θ_{PMP} , mientras que a D_a mayores a $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ el LLWR se restringe por θ_{RP} .

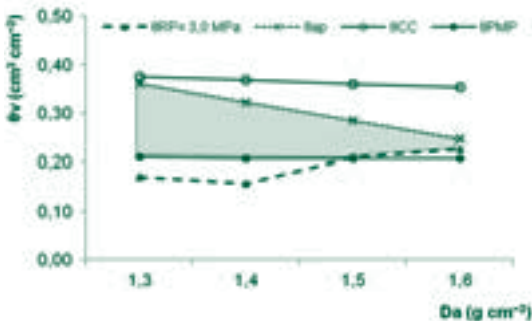


Figura 13. Fracción de Agua No Limitante del predio El Carmen.

En el sitio El Carmen, el límite superior del LLWR está definido por θ_{CDC} . El límite inferior del LLWR en el rango de D_a entre $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ y $1,5 \text{ g cm}^{-3}$, está definido por θ_{RP} , hasta interceptarse con θ_{CDC} , siendo la D_a de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ crítica para este suelo, donde el LLWR es igual a cero.

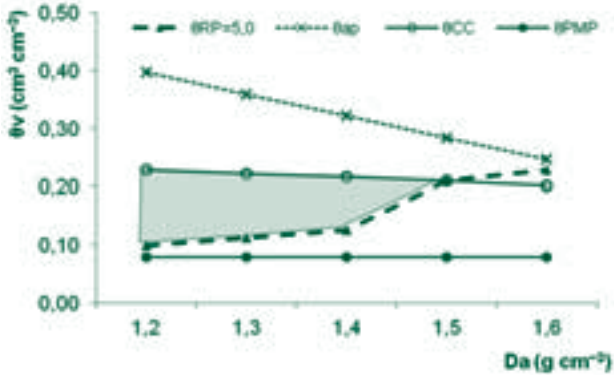


Figura 14. Fracción de Agua No Limitante del predio Las Arañas.

En el sitio Las Arañas, en el rango de D_a entre $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ y $1,25 \text{ g cm}^{-3}$, el límite superior del LLWR está definido por θ_{CDC} , mientras que en D_a $1,25$ y $1,6 \text{ g cm}^{-3}$, el θ_{ap} define el límite superior. El límite inferior del LLWR en el rango todo el rango de D_a (entre $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ y $1,6 \text{ g cm}^{-3}$), está definido por θ_{PMP} .

La resistencia mecánica a la penetración es un factor que afecta muy sensiblemente al LLWR, especialmente en los suelos con porcentajes de arcilla menores (como Santa Amelia y El Carmen). Por el contrario, los suelos con mayor contenido de arcilla a suelos francos (Quinta de Tilcoco, Las Arañas y Santa Julia), son afectados mayormente por la falta de aireación, siendo el sitio Santa Julia el más sensible en este aspecto. Los sitios Santa Julia y Quinta de Tilcoco, experimentaron limitaciones por RP crítico a partir de una D_a de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ y $1,44 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente.

El Cuadro 17, muestra la diferencia entre HA bajo criterio tradicional y bajo criterio de la LLWR a D_a promedio, utilizando un límite inferior variable según porcentaje de arcilla calculados en cada sitio.

Cuadro 17. Comparación de la humedad aprovechable (HA) de cada sitio entre criterio tradicional versus criterio del LLWR, a Da promedio en cada sitio.

Sitio	HA criterio tradicional ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	HA criterio LLWR ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
Santa Amelia	0,09	0,07
Quinta de Tilcoco	0,15	0,12
Santa Julia	0,16	0,09
El Carmen	0,14	0,09
Las Arañas	0,15	0,09

Se observó una clara diferencia entre ambos criterios, sobre todo en los sitios Santa Julia, El Carmen y Las Arañas. El sitio Santa Julia presentó la mayor diferencia entre ambos criterios, limitando de manera excesiva la HA utilizado el criterio del LLWR, lo cual coincidió con su elevada compactación, mientras que el sitio Quinta de Tilcoco, presentó el mayor valor del LLWR, siendo un suelo con una compactación normal.

La literatura reciente ha planteado el uso del LLWR como un concepto que permite cambiar el manejo tradicional del riego. Los nuevos límites propuestos por este estudio son más acotados que los usados tradicionalmente.

La Densidad aparente de un suelo, es el principal parámetro que determina la Fracción de Agua No Limitante, y puede variar en un mismo suelo en función del manejo agronómico. Todos los suelos estudiados (a excepción de los sitios Quinta de Tilcoco y El Carmen), presentaron niveles de compactación sobre índices normales a densos. Esto determina reducidos rangos de HA que no superan los $0,09 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ sin limitaciones para las raíces de las plantas, haciendo que el manejo del riego en estos suelos sea más estricto para conseguir rendimientos óptimos de los cultivos (en este caso maíz), dadas las limitaciones que presentan estos suelos.

En los suelos estudiados donde predominó la textura arenosa en este trabajo (El Carmen y Santa Amelia), los límites críticos están definidos por θ_{CDC} y θ_{RP} (límite superior e inferior respectivamente, en todo el rango de densidades de suelo), donde la aireación de

estos suelos no representa una limitación para el crecimiento de raíces si θ_v se mantiene dentro de este rango. Se debe procurar mantener estos suelos a niveles cercanos a θ_{CC} y alejados de θ_{RP} crítico en la programación del riego. Esto sugiere un incremento en la frecuencia y una disminución en el tiempo de riego, debido a la menor disponibilidad de HA al utilizar el criterio definido por LLWR sugerido. En estos suelos, el manejo del riego superficial es complejo por la dificultad de mantener el perfil dentro de los límites del LLWR por un tiempo adecuado. De esta forma, estos suelos estarían mejor adaptados para el riego localizado, especialmente en especies vulnerables a la asfixia radical, tales como paltos, cítricos en general y frutales menores como arándanos.

En suelos de textura franca a franco arcillosa, se recomienda el manejo del riego usando como límites críticos θ_{ap} y θ_{PMP} (límite superior e inferior respectivamente, a D_a promedio), con una disminución en el tiempo de aplicación, evitando de este modo la posible asfixia radical producto de la falta de oxígeno en el suelo, que se produciría antes de alcanzar θ_{CDC} . El manejo del riego en los sitios Santa Julia y Las Arañas, es más complejo, porque el LLWR no supera los $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, coincidente también con un elevado nivel de compactación.

El sitio Quinta de Tilcoco, presentó el valor más amplio de LLWR ($0,12 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), coincidente con un nivel de compactación suelto a normal, adaptándose adecuadamente al riego superficial. Por otra parte, el sitio Santa Amelia presentó el valor más bajo ($0,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), en un rango de compactación normal a denso, definiendo prácticas de manejo del riego más estrictas.

El sitio El Carmen, con bajo nivel de compactación, presentó un LLWR de aproximadamente $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, rango relativamente amplio para un suelo de esta clase textural.

El LLWR es un indicador dinámico, que puede variar en función del tiempo y es muy dependiente de las prácticas de manejo del suelo. De esta forma si se realiza un manejo agronómico adecuado a cada suelo estudiado, sería posible mejorar el LLWR

de los sitios con mayores restricciones.

3.3 Conclusiones

De las mediciones efectuadas en las localidades ya mencionadas, se puede concluir lo siguiente:

- La Fracción de Agua no Limitante reportada en este estudio, fue menor que en todos los suelos (especialmente en los suelos Santa Julia, El Carmen y Las Arañas), en comparación al criterio tradicionalmente usado para programación del riego.
- En los suelos estudiados, los de textura arenosa se presentaron limitados principalmente por la θ_{RP} , mientras que los con mayor contenido de arcilla, se presentaron limitados por θ_{ap} .
- Este concepto propone un manejo diferente del riego al sistema tradicional, el cual supone una mejora en los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, no todos los sistemas de riego se adaptan del todo, especialmente los sistemas de riego gravitacionales, donde se sugiere al menos mantener los niveles de humedad el mayor tiempo posible entre los niveles críticos.
- Se recomienda validar el criterio propuesto en terreno, manejando el riego con esta nueva estrategia de programación, evaluando su impacto en el rendimiento del cultivo del maíz grano.

Literatura Citada

Da Silva, A.; Kay, B.; Perfect, E. 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. Soil Science Society of America Journal. 58 (6):1775-1781.