

USO EFICIENTE DEL AGUA EN AGRICULTURA SUSTENTABLE

Ing.Agr. (MSc.) Rodolfo C. Gil
Instituto de Suelos. INTA Castelar

Para una agricultura sustentable se podría decir con pocas palabras que: *la mejor manera de usar el agua del campo es convirtiéndola en material vegetal*. Sin embargo a la hora de definir las estrategias de manejo más convenientes es necesario comprender la complejidad que encierra el comportamiento funcional del suelo, y la relación que guarda con el uso del agua y la producción de los cultivos en un ambiente definido.

Cabe recordar que en un sistema de cultivo, el balance de agua en el suelo resulta de las diferencias entre: a) ingresos: precipitaciones, riego, capa freática y los aportes por escurrimiento desde las áreas mas elevadas; y b) egresos: dados por la transpiración de los cultivos y la evaporación desde la superficie del suelo (evapotranspiración), el escurrimiento hacia zonas mas bajas y la percolación por debajo de la zona explorada por las raíces

En este balance, la transpiración es el componente que está directamente ligado con la fotosíntesis y por consiguiente con el crecimiento del cultivo y los rendimientos. Es decir, que los cultivos pueden aprovechar la mayor parte del agua del suelo, y utilizar este recurso, intercambiándolo por el CO₂ a nivel de los estomas de las hojas para la producción de fotoasimilados, convirtiendo estos productos en una forma cosechable (biomasa y grano).

Este planteo constituye una base de la sustentabilidad del sistema de producción por: a) el impacto directo que tiene sobre los niveles de rendimiento de los cultivos, b) porque una mayor transformación del agua en material vegetal significa mayores aportes de carbono orgánico, y porque estos aportes inciden sobre las características estructurales del suelo que gobiernan la dinámica del agua, y el mantenimiento de la calidad del suelo.

En otras palabras, podríamos decir que la única salida de agua del campo que resulta económicamente rentable y ambientalmente sustentable es la que se utiliza en la transpiración de los cultivos; todas las demás salidas: evaporación, percolación y escurrimiento, son salidas no productivas y no rentables desde el punto de vista económico. Este concepto es fundamental a la hora de diseñar estrategias de cultivo que permitan optimizar la oferta de agua en los distintos ambientes de producción.

Una manera de interpretar lo dicho es efectuando el razonamiento agrupando el camino que sigue el agua en el sistema de producción en tres etapas principales: almacenamiento, utilización y transformación.

El Uso Eficiente del Agua en el sistema de producción:

Con el siguiente modelo se pretende identificar, analizar y resumir aquellos factores y sus interacciones, que pueden impactar en el uso del agua a nivel del suelo y del cultivo, y cómo las prácticas culturales en particular las vegetativas, y el manejo en su conjunto pueden condicionar las eficiencias hídricas de un sistema de producción.

$$UEA = \frac{Y}{ET} \times \frac{ET}{A_a} \times \frac{A_a}{A_i} = \frac{Y}{A_i}$$

(1) (2) (3)

En un cultivo, la biomasa (Y) producida por unidad de agua consumida (evapotranspiración, ET) expresa la eficiencia con la cual dicho cultivo fija carbono en relación con el agua que pierde (Y/ET). Sin embargo, el concepto de Uso Eficiente del Agua (UEA) que se logra a nivel del sistema de producción es mucho más amplio ya que engloba además a la eficiencia del uso de agua almacenada en el suelo (ET/A_a) y a la capacidad de disponer la mayor parte del agua almacenada que ingresa por vía de las precipitaciones, riego o capas freáticas (A_d/A_i) con relación a las posibles pérdidas por escurrimiento, evaporación y percolación.

Quizás un mejor entendimiento para establecer la estrategias de manejo más convenientes, parta de poder contestar las siguientes preguntas.

- *¿De qué depende que la mayor parte del agua evapotranspirada sea convertida en biomasa vegetal?.*
- *¿De qué depende que la mayor parte del agua almacenada sea utilizada en el proceso de evapotranspiración?.*
- *¿De qué depende que la mayor parte del agua incorporada al sistema sea almacenada en el suelo para ser transpirada y utilizada en la conversión a biomasa vegetal? .*

(1) Biomasa vs ET: “La construcción de una antena de captación de energía”

Cuando el agua no es limitante la cantidad transpirada por el cultivo depende fundamentalmente de la cantidad de radiación interceptada por su canopeo. La radiación solar es la fuente de energía utilizada tanto en el proceso transpiratorio como en el de fijación de CO_2 , por lo tanto cuanto más energía absorba un canopeo más agua podrá transpirar y más CO_2 podrá fijar para la generación de hojas, tallos, raíces y grano. En Paraná, una mayor eficiencia del uso del agua por efecto de la fertilización nitrogenada, se explicó en un 60 % por el aumento en la eficiencia en el uso de la radiación solar. (3)

La Y/ET varía entre especies (tipo de metabolismo C_3 o C_4), y la composición de la biomasa, a la vez de ser afectado por el clima que define la demanda atmosférica. Así por ejemplo, el maíz (C_4) capta más carbono por unidad de agua transpirada, resultando más eficiente que la soja y el girasol en la producción de grano por unidad de agua utilizada. (4) (5) (10) (18)

Por otro lado, el desarrollo fenológico y el crecimiento máximo para cada estado de desarrollo de un cultivo bien provisto de agua resultará de la interacción entre factores climáticos (fotoperíodo y termoperíodo), las características del cultivo (área foliar, estructura, cobertura) y factores edáficos (disponibilidad de agua y nutrientes). Por lo tanto aspectos como: la elección de la especie, selección de los cultivares, duración del ciclo, fecha de siembra, densidad de la siembra, nutrición y sanidad del cultivo jugarán un rol importante a la hora de establecer las estrategias de manejo para optimizar la ET.

Del mismo modo una buena cobertura del suelo, con suficientes rastrojos y bien distribuidos, es también un aspecto fundamental si el objetivo es tratar que la mayor proporción del agua sea utilizada en la transpiración del cultivo y no perdida en el proceso de evaporación .

(2) ET vs Agua almacenada: “La transformación del agua en materia orgánica”.

Los requerimientos totales de agua de un cultivo durante el periodo de crecimiento generalmente superan la cantidad de agua que un suelo puede almacenar. Es necesario

entonces reabastecer el perfil, es decir sacar el agua por transpiración para que más agua de lluvia pueda entrar a lo largo del ciclo del cultivo.

Es interesante recordar que la posibilidad de satisfacer los requerimientos hídricos de la planta no radica exclusivamente en la cantidad de agua almacenada en el suelo. Depende además de la habilidad que tenga su sistema de raíces de absorber la solución del suelo en contacto, como así también de la habilidad que presenta el suelo de transmitirla y suministrarla a las raíces a una tasa que permita satisfacer los requerimientos de transpiración. Por lo tanto aspectos del cultivo como la profundidad y densidad de las raíces; y del suelo, como la textura que regula la energía con que el agua es retenida y transmitida, gravitarán en la proporción del agua almacenada que puede ser utilizada. Otro aspecto muy importante es la aireación que tenga el suelo para que los procesos a nivel de la rizosfera se cumplan satisfactoriamente.

Los factores que inciden directamente en el patrón de enraizamiento y en el desarrollo, crecimiento y actividad de las raíces son numerosos y su interacción es compleja, superando los alcances de este documento; sin embargo la investigación ha demostrado que en las relaciones suelo-planta la capacidad de un cultivo de extraer agua del suelo está directamente relacionada con el gradiente hídrico entre el suelo y la planta e inversamente relacionadas con las resistencias que limitan el flujo de agua a nivel del suelo y de la planta. En otras palabras, un sistema de raíces bien profundo, denso, bien distribuido en un suelo sin limitaciones (densificaciones, compactaciones) y bien aireado, permitirá una mejor exploración y un mayor aprovechamiento del agua edáfica para satisfacer las demandas de ET. Por lo tanto la tasa de extracción será máxima cuando no existan limitantes para la distribución uniforme de las raíces, se haya alcanzado una densidad radical crítica en las distintas capas del perfil y el suelo presente buenas condiciones de humedad y de conductividad hidráulica.

La capacidad volumétrica de un suelo desde el punto de vista agronómico está muy relacionada con la profundidad efectiva que puedan explorar las raíces de los cultivos, pero la posibilidad que tiene de abastecer los requerimientos de transpiración en sus distintos horizontes dependerá de la fracción del agua almacenada que se encuentra disponible en cada uno de ellos y de la conductividad hidráulica que posean para transmitirla. Estas características de almacenamiento de agua, conducción, aireación y enraizamiento son totalmente dependientes de las características estructurales, en particular de la proporción de macro y microporos y de la continuidad y estabilidad de los mismos. Propiedades que a su vez están muy ligadas a la textura, al nivel de carbono orgánico y a la actividad biológica, incluida las de las propias raíces y la fauna del suelo.

De este análisis se desprenden algunos aspectos que se deberían tener en cuenta para aumentar la ET/A_a .

- Elección de especies y cultivares que presentan sistemas de raíces profusos y profundos, y buena capacidad de profundizar. Esto constituye una manera indirecta de aumentar la cantidad de agua almacenada y disponible y capacidad para utilizarla.
- El ambiente edáfico, humedad y temperatura, que permita expresar la tasa de crecimiento de las raíces. Un buen contenido de humedad del perfil a la siembra asegura la mayor exploración radical.
- La densidad de plantación puede constituir una estrategia para modificar el patrón de enraizamiento y e patrón de extracción de agua del suelo.
- Evitar la formación de capas compactadas superficiales y subsuperficiales. La densificación del suelo genera una mayor proporción de microporos aumentando la energía de retención del agua (menor disponibilidad) para la ET.

- Rotación de cultivos con especies que aporten volúmenes de rastrojo que permitan mantener máxima cobertura del suelo y un balance del C orgánico equilibrado.
- Ajustar la planificación de los ciclos de los cultivos de tal manera de maximizar el uso del agua en función de los momentos críticos de los cultivos con la cantidad y distribución de las lluvias, y con la capacidad de almacenaje y propiedades hidráulicas de los suelos.

Este concepto de ajustar la rotación de los cultivos en función de los requerimientos hídricos con la capacidad de almacenaje de los suelos y las características climáticas es particularmente importante a fin de ajustar la secuencia más conveniente para mejorar la eficiencia de uso de agua, disminuyendo los excesos, y evitando deficiencias en etapas críticas del desarrollo. (1)

Es interesante hacer notar el protagonismo que juega la primera porción del perfil de suelo en la oferta de agua para el cultivo, representando en muchos suelos más del 50% del total de agua disponible (7). De ahí la importancia de prestar atención en esta porción del perfil del suelo, en las características estructurales, en los niveles de la materia orgánica y en la actividad biológica en su conjunto. Es estratégico establecer rotaciones que aporten volúmenes significativos de restos vegetales para lograr una mejor protección de la superficie y mantener los niveles aceptables de carbono del suelo. A mayor contenido de materia orgánica, el volumen de agua retenido en capacidad de campo se incrementa en mayor proporción que el retenido en el punto de marchitamiento permanente lo que implica aumentar la cantidad de agua disponible para el cultivo (2) (11).

La intensificación de cultivos bajo las consideraciones comentadas permitirá ciertas ventajas para el agro-sistema como:

- Mayor protección de la superficie del suelo y conservación de las propiedades funcionales de la porción superficial del subsuelo.
- Mejor aprovechamiento de los excedentes hídricos transformándolos en materiales orgánicos.
- Generar más macro-porosidad continua y estable
- Mejor aireación del suelo
- Mejor control de malezas, por tener más tiempo el suelo ocupado con cultivos densos y eventualmente cultivos de cobertura.
- Potenciar la activación de los procesos biológicos del suelo
- Facilitar un aumento en la capacidad de almacenaje, mayor renovación del agua almacenada y mejor aprovechamiento del agua incorporada.

(3) Agua almacenada vs agua incorporada al sistema: “Hacer del suelo un silo de agua”.

La propiedad que tiene el suelo de retener agua está determinada por la textura, su capacidad para almacenarla por su profundidad efectiva, y la posibilidad para conducirla depende mayormente de su estructura que define la geometría del espacio poroso ocupado por agua y aire.

Para aumentar la cantidad de agua almacenada es necesario aumentar la proporción de agua de lluvia que infiltra al suelo, respecto de la que escurre. La infiltración es un proceso complejo que depende fundamentalmente de la condición estructural de la superficie del suelo, del contenido de humedad y de la rugosidad y cobertura que regulan los tiempos de permanencia del agua de lluvia donde cae.

La rotación de cultivos que incluyen mono y dicotiledóneas generalmente benefician la estabilidad y formación de una estructura favorable dependiendo de las características de

crecimiento de las especies, la secuencia de los cultivos y la frecuencia con que se repiten y que inciden en gran medida a través de los bioporos (10). Estos bioporos creados por la meso fauna del suelo y las raíces de los cultivos constituyen rutas preferenciales para la entrada del agua en el suelo. Cuando la intensidad de la lluvia supera la capacidad de infiltración y el agua comienza a estancarse en la superficie, estos macroporos facilitan su drenaje y hacen que el agua penetre en el subsuelo recargando el perfil con mayor rapidez, incluso alcanzando profundidades que no se lograrían con implementos de labranza.

La intensificación con trigo o con cultivos de cobertura resultan un herramienta efectiva para aprovechar excedentes hídricos o bien, mejorar el aprovechamiento del agua en períodos de barbechos invernales, convirtiéndolos además en aportes importantes de material orgánico. Su efecto protector sobre la superficie del suelo y la generación de bioporos por las raíces permite que en las lluvias inmediatas a las siembras estivales se mitigue el encostramiento, y se aumente la infiltración, especialmente en secuencias de cultivos que producen poca cobertura. (6) (15).

Un suelo bien provisto de materia orgánica siempre funcionará mejor, en ciclos húmedos o de sequía. Recordemos que los suelos de la región Pampeana, en su mayoría Molisoles y Alfisoles de textura media con alta proporción de limo dependen fundamentalmente de los mecanismos bióticos para mantener su estructura (17).

En muchos suelos de la Región Pampeana de la Argentina bajo siembra directa, se observa que aún con valores de porosidad total comparables, la Ksat, aumenta significativamente por la actividad de lombrices, insectos de suelo y raíces, destacándose flujos preferenciales de agua en los poros de mayor tamaño (8). Al mismo tiempo se observa también que densificaciones provocadas por el tránsito de la maquinaria no controlado, pueden reducir la conductividad del suelo a niveles que lo hacen prácticamente impermeable. Esto destaca la importancia de la acción biótica de los vegetales y mesofauna en los mecanismos de estructuración y estabilización del sistema poroso del suelo que impactan sobre la dinámica y uso del agua.

Una vez más, prácticas de manejo orientadas a conservar los rastrojos en superficie, con rotaciones que incluyan cultivos de biomasa voluminosa (aérea y raíces), y la posible utilización de barbechos vivos sobre todo en ciclos húmedos, permitirá la reducción de los escurrimientos y concomitante acumulación de agua en zonas mas bajas, y la posibilidad de aumentar la cantidad de agua infiltrada, almacenada y disponible para la transpiración. Esto favorecerá el aumento de la producción de biomasa, con mayor aporte de los rastrojos y mayor acumulación de carbono orgánico para continuar con el proceso de manera sustentable.

Comentarios finales:

Una agricultura de conservación procura adaptar la planta y las tecnologías para cada ambiente particular, de tal manera que este pueda expresar su capacidad productiva de manera sostenida (9). Comprender este concepto, es el punto de partida para optimizar la producción a través de un uso más eficiente del agua.

En el modelo del uso eficiente del agua presentado en este análisis, sería una simplificación entender que las estrategias de manejo deberían apuntar tan solo a la captación, infiltración y almacenamiento del agua de lluvia; o que la agricultura sobre cubierta vegetal como la siembra directa aumenta la captación de agua, disminuye la erosión, o aumenta la materia orgánica del suelo mejorando la estructura del suelo respecto a otros sistemas convencionales. Lo que pretende dicho modelo es crear la necesidad de conocer y entender

los cambios que se generan en este nuevo agroecosistema y la dinámica con que se producen, y que impactan en las eficiencias de uso del agua.

Un requisito para alcanzar la optimización del sistema es contar con la mayor información posible, detallada y cuantificada para entender cómo el ambiente de producción: suelo y clima condiciona la respuesta del cultivo.

Bibliografía:

1. Andriani J. 2000. El agua en los sistemas productivos. Para mejorar la producción. Editado por SAGYPA y el INTA EEA Oliveros. Sta Fé. N° 13 .72pp.
2. Barbosa O. 1999. Tesis Magíster Scientiae. Escuela de Graduados. Fac. Agron. UNBA.
3. Caviglia y Sadras 2001. en Dardanelli J, D. Collino, M.E. Otegui y V.O. Sadras. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. E Producción de cultivos para grano. Fac. Agr. UNBA.
4. Dardanelli J., D. Collino, M.E. Otegui y V.O. Sadras. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. E Producción de cultivos para grano. Fac. Agr. UNBA.
5. Della Maggiora A., Gardial J.M., y Irigoyen A. 2000. Requerimientos Hídricos. En Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed. F.H.Andrade, y V.O. Sadras. EEA INTA Balcarce-Fac. C. Agr. UNMP. P 155-171.
6. Derpsch, Rolf. 2001. Frkontiers in conservation tillage and advances in conservation practice. In D.E. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds). 2001. pag. 248-254.
7. Damiano F y Taboada M.A. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de la región pampeana. Ciencias del Suelo 18 (2) 77-88.
8. Gil R. Y Borrell O. 2000. Relaciones entre las características del sistema poroso y la conductividad hidráulica saturada y no saturada en un Argiudol típico serie Cap. Sarmiento, en Gil R. 2000. El comportamiento físico funcional de los suelos. Proyecto de Agricultura de Precisión. EEA INTA Manfredi.
9. Gil R. Y Garay A. 1999. La siembra directa y el funcionamiento sustentable del suelo: impacto sobre la condición física del suelo y la producción de los cultivos. Actas del XIV Congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón. Chile.
10. Hahendorf M., Redelf M.S., Amos B., Stone L.R. y Gwin R.E. 1988. Comparative water use characteristics of six row crops. Agron. J. 80:80-95.
11. Hudson B.D. 1994. Soil organic matter and available water capacity. J. Soil Water Conservation. 49:189-193.
12. Kay J. 1990. Adv. Soil Sc. 12:1-52
13. Micucci F. Taboada M.A. y Gil R. 2002. El agua en la producción de cultivos extensivos: I. El suelo como un gran reservorio. INPOFOS 15. Archivo Agronómico 6.
14. Micucci F., Taboada M.A. y Gil R. 2003. El agua en los sistemas extensivos. II. Consumo y eficiencia de uso del agua de los cultivos.
15. Sánchez M.A., 2003. Estudio de los efectos de la cubierta vegetal sobre el aprovechamiento del agua para los cultivos. Trabajo de intensificación Esc. Sup. Ing. Agr. Un. Córdoba. España.
16. Senigaglia C. 1988. Labranzas y agricultura conservacionista, en Jornadas Regionales: Labranzas y conservación de suelos. EEA INTA Rafaela. PM 51:111-133
17. Taboada M.A. 2003. Curso de postgrado: especialidad en Siembra Directa. Esc. Grad. Fac. Agr. UNBA.
18. Totis de Zeljkovich, Zeljkovich V., Coca M.G., Blotta L.A., Funston L. Y Rivoltella A. 1991. Balance de agua del doble cultivo trigo-soja y su relación con la productividad e la región de Pergamino. Inf. Tec. 257. EEA INTA Pergamino.