



Lixiviación para el manejo de la salinidad en céspedes

Cuando las sales son un problema, la lixiviación es la solución
Segunda parte

A continuación presentamos la segunda parte de la traducción del artículo original de R.N.Carrow, M.Huck, y R.R.Duncan presentado en el número de Noviembre/Diciembre del Green Section Record de la USGA. Recordamos que R.R.Duncan fue ponente en el 1er Simposio de Golf, Agua y Medio Ambiente (2001). En el número 9 de nuestra revista fue presentada la primera parte.
Rafael González-Carrascosa *Bassadone Alicante Golf. Hansa Urbana.*

"Manejo de la salinidad" es sinónimo de "lixiviación de sales". La lixiviación es la

práctica de manejo más importante usada para aliviar o prevenir el estrés salino en céspedes. En especial cuando las aguas de riego contienen cantidades apreciables de sales, los encargados del mantenimiento del césped deberían centrarse en "mantener las sales en movimiento".

Aunque este principio parece simple, conseguir un programa de lixiviación efectivo que mantenga las sales en movimientos hacia zonas más profundas del sistema radicular resulta complejo. El manejo de las sales se ve influenciado por: el tipo de sales, los factores de suelo, la cantidad y calidad del agua, las lluvias, la especie y variedad de césped, y la época del año. En este segundo artículo se analizan los últimos factores (agua, césped y época del año), usando

ejemplos prácticos de situaciones típicas de campo.

Factores del agua y riego

1. La calidad del agua de riego influencia enormemente la cantidad de agua necesaria para lavar las sales, siendo necesarias mayores cantidades cuanto mayor sea el nivel de salinidad. La *necesidad de lavado* (NL) se define como la mínima cantidad de agua que debe pasar por la zona radicular para mantener las sales dentro de un rango aceptable. Así, NL se usa para hacer un lavado de mantenimiento en el cual los niveles de salinidad se mantienen dentro de valores aceptables.

Existen varios métodos para determinar NL. El método de Rhoades proporciona una buena aproximación y se basa en la salinidad del agua de riego (CE_w , dSm^{-1}) y en el nivel de tolerancia del césped usando una CE_e umbral (la salinidad del suelo, CE_e , a la cual el crecimiento se ve reducido comparado con el crecimiento en condiciones no salinas) donde (ver tabla 2):

$$NL = \frac{CE_w}{5CE_e - CE_w} = \begin{array}{l} \text{Porcentaje extra de} \\ \text{agua por encima de} \\ \text{ET para lavar sales} \end{array}$$

Asumiendo que el nivel de salinidad inicial de la zona radicular es aceptable, cuando NL no es suficiente para mantener el lavado de sales dos reacciones adversas en la salinidad se producen: a) primero la sal aplicada en el agua de riego comienza a acumularse en los primeros centímetros de la superficie, y b) la actividad capilar comienza a elevar sales de capas más profundas a la zona radicular (figura 1). A menudo esta zona donde se acumulan sales alcanza muy altas CE_e y tras llegar a la zona baja del sistema radicular puede inducir rápidamente estrés salino. Cuando esto ocurre es necesaria mucha más agua para aliviar el problema salino (sequía fisiológica con una toma reducida de agua para los procesos de enfriamiento por transpiración) mayores que la cantidad NL pues pasa a ser un problema de recuperación (así como un serio peligro de pérdida del puesto de trabajo).



Este caso se observa más comúnmente en greens con suelos arenosos de *Agrostis/Poa annua* regados con aguas con un contenido en sales de moderado a alto. Además, le puede pasar a greenkeepers que estén usando aguas con bajo contenido total de sales (500 a 600 ppm) bajo condiciones ambientales extremas. El técnico puede estar consiguiendo lavados por lixiviación adecuados en primavera y principios de verano, pero a mediados de verano tres acontecimientos pueden impedir la lixiviación: a) un tiempo seco y caluroso incrementa la ET y aumenta la necesidad de riego para mantener tan solo el suelo húmedo (tabla 1); b) el sistema radicular comienza a perder profundidad; y c) los técnicos comienzan a dar riegos ligeros y más frecuentes insuficientes para un lavado correcto. Comienza el proceso explicado en la parte baja de la figura 1.

Riegos frecuentes y ligeros aumentan las acumulaciones de sales en la superficie, donde se encuentran la mayoría de las raíces. Así mismo las sales pueden ascender mediante la acción capilar hacia la zona

radicular desde a) una zona de alta salinidad típica de los greens tipo *pushup* (de tierra), o b) de la capa freática colgante de greens USGA mal lavados. Los daños se observan primero en los greens elevados, abiertos y expuestos donde las condiciones de alta ET prevalecen debido a una alta radiación y exposición al viento. Si el *Agrostis/Poa annua* ya estaba sometido a estrés, la sequía inducida por salinidad agrava el problema. Si el Greenkeeper es consciente de esta secuencia puede añadir una cantidad extra de agua de riego cada varias semanas para impedir la acumulación de sales. La frecuencia entre lavados dependerá de la calidad de agua usada, la profundidad del sistema radicular, el umbral de tolerancia a CE de la especie usada. La frecuencia de lavado y el umbral de tolerancia a CE se puede calcular fácilmente y con coste bajo mediante un medidor de conductividad. *La conductividad CE del suelo a distintas profundidades se puede seguir de forma casi diaria si fuera necesario, y cuando se lleguen a valores cercanos a los tolerados por la especie se puede realizar lavados aclarar la*

capa freática colgante.

Un método práctico de asegurar que la capa colgante de agua baja en salinidad totalmente es descubrir la salida de drenaje para tomar muestras. Se hará un seguimiento de las muestras del drenaje mediante un conductímetro de mano. Una vez que la conductividad del agua de drenaje se aproxime a la conductividad del agua de riego podemos asegurar que la lixiviación se ha completado. Aunque un suelo nativo puede necesitar entre 1 y 4 semanas para recuperarse, en el caso de greens de arena con buen drenaje construidos mediante el sistema de capa colgante de agua (USGA) puede bastar entre 1 y 3 días.

Entre lavados pudiera ser necesaria la aplicación de riegos ligeros y frecuentes hasta que el sistema radicular se regenere, lo que en el caso de greens de *Agrostis/Poa* no ocurre hasta que la temporada fría llega.

2. La lixiviación de recuperación difiere respecto al concepto de mantenimiento NL anterior en que éste se enfocaba en mantener un nivel de salinidad aceptable. En

TABLA 2

Determinación de las necesidades de lavado de mantenimiento NL (según Rhoades)

Concepto: Una vez que el nivel de salinidad del suelo en la zona radicular del césped se encuentra a niveles aceptables o deseables, el método de las necesidades de lavado NL consigue el mantenimiento de este nivel. Las necesidades de lavado NL es la cantidad de agua mínima que necesita atravesar el sistema radicular para mantener las sales bajo parámetros aceptables. Una buena fórmula es:

$$NL = \frac{CEw}{5CEe - CEw}$$

donde CEw= salinidad del agua de riego (dSm⁻¹)

CEe= umbral de salinidad por encima del cual el crecimiento del césped in situ se ve afectado.

Ejemplo: para un césped con un umbral CEe de 6 dSm⁻¹ y un agua de riego de conductividad CEw=2 dSm⁻¹.

$$NL = \frac{2}{5(6) - 2} = 0.0714$$

Lo que significa que NL es 7.1% que debe exceder al agua de riego equivalente para alcanzar la ET. Así si se necesita un riego de 2 mm de agua para reponer la humedad de riego perdida por EVT, un 7.1% adicional será necesario para mantener un nivel salino en particular o (2 x 0.071)= 0.14 mm de agua para un total de 2.14 mm. Es necesario aclarar que un agua de riego mas salina o un césped menos tolerante a la salinidad significaría una mayor NL.

el caso de la recuperación, se necesita una cantidad de agua mayor para bajar la salinidad a nivel del sistema radicular hasta niveles aceptables. Una vez que estos niveles se han conseguido se puede usar la metodología de riego NL (lixiviación de mantenimiento) pues requiere menor cantidad de agua. El método de recuperación ocurre básicamente en dos situaciones en el manejo de céspedes: a) cuando suelos seriamente afectados por sales necesitan ser tratados mediante la lixiviación del exceso de sales antes del establecimiento de un césped, y b) cuando los técnicos en céspedes no han mantenido un nivel adecuado de NL y la salinidad en el sistema radicular se ha incrementado hasta niveles peligrosos. La segunda situación se suele encontrar durante veranos secos y calurosos con ET altas en los que no se han ajustado las necesidades de ET + NL. Los céspedes de climas fríos pueden no adaptarse a estos golpes severos y repentinos (una combinación de sequía, altas temperaturas y un mayor pisoteo inducido por un menor crecimiento debido a la mayor salinidad) y a menudo no sobreviven a estas condiciones. La lección a aprender es que es mejor prevenir este tipo de situaciones mediante una aplicación continua y suficiente de agua de lavado NL para mantener las sales moviéndose a lo largo del perfil del suelo y alejándose del sistema radicular. Las necesidades de lavado de recuperación se pueden estimar por el procedimiento presentado por Rhoades y Loveday (tabla 3). Este método tiene en cuenta: profundidad de lixiviación, CEe deseada, CEe actual o inicial del agua de suelo, y tipo de suelo. Una vez que se ha determinado la profundidad de agua (Pw) necesaria para producir la lixiviación, en términos de "milímetros de agua a aplicar", se puede introducir en la ecuación la influencia que el agua de lluvia tendría. Por ejemplo, en la tabla 3, la situación indica que serían necesarios 260 milímetros de agua de una calidad de CEw=1.5 dSm⁻¹ para recuperar ese suelo. Sin embargo, si lloviera agua con una salinidad de 0.1 dSm⁻¹, podríamos decir que serían necesarios Pw=83 mm para conseguir el mismo efecto que 260 mm de riego con 1.5 dSm⁻¹. Cuando comparamos la profundidad de agua

TABLA 3

Determinación de las necesidades de lavado de recuperación (según Rhoades y Loveday)

Concepto: se usa la siguiente fórmula :

$$P_w = K \times P_s \times \frac{C_{Ee0} - C_{Ew}}{C_{Ee} - C_{Ew}}$$

donde: Pw= profundidad de agua a aplicar para lixiviación (mm)

Ps= profundidad de suelo a ser recuperado o lixiviado (mm)

CEe= salinidad de suelo final deseada. Este valor es habitualmente el nivel umbral de tolerancia a la salinidad del césped en cuestión, o algo menor.

CEe0= salinidad inicial del suelo

CEw= salinidad del agua de riego usada para el lavado

K= factor que varía en función del tipo de suelo y la forma de aplicar el agua (eficiencia del riego)

Para riego por aspersión por ciclos que permita drenajes con 1 a 2 horas (arenas) o 2 a 8 horas (suelos de textura fina) entre estos ciclos hasta aplicar la cantidad de aguas total:

K= 0.05 para suelos arenosos con >95% en contenido de arenas

K= 0.10 para el resto de suelos

Para riegos por inundación o por aspersión continua para mantener el suelo saturado durante el lavado:

K= 0.45 para suelos orgánicos

K= 0.30 para suelos de textura fina

K= 0.10 para suelos arenosos

Ejemplo: Un green de golf sobre un suelo con alto contenido en arenas tiene una conductividad CE= 8.0 dSm⁻¹ (CEe0) y el técnico quiere conseguir una conductividad final de CE= 2.0 (CEe). El agua de riego a usar para lixiviación tiene una CE de 1.5 dSm⁻¹ y la profundidad de lavado deseada (Pw) es de 400 mm hasta llegar al tubo de drenaje.

Según la fórmula usando k= 0.05 nos daría una cantidad de riego o profundidad de agua Pw= 260 mm

$$P_w = 0.05 \times 400 \times (6.5/0.5) = 260 \text{ mm}$$

Si el agua de riego fuera de mejor calidad, por ejemplo CEw= 1.0 dSm⁻¹, la profundidad de riego sería Dw= 140 mm de agua.

Si la salinidad final (CEe) porque el césped es más tolerante a la salinidad, por ejemplo CEe= 4.0 dSm⁻¹, entonces Pw= 65 mm de agua.

Si el green fuera no arenoso (push-up green) con <95% de arena donde k =0.10 entonces Pw= 517 mm de agua.

(Pw) necesaria para la lixiviación usando agua de riego con una CEw=1.5 dSm⁻¹ frente a un agua de lluvia (tabla 3), parece claro que la calidad del agua juega un papel de igual importancia tanto si realizamos lixiviación de recuperación como cuando sea de mantenimiento NL. Una segunda

TABLA 4

Estimación de las necesidades de lavado de recuperación basado en el tipo de suelo

Una alternativa a la determinación de las necesidades de lavado de recuperación por el método de Rhoades y Loveday presentado en la tabla 1, y que se basa en el espacio de poros total o el volumen de poros (VP)

Relación básica:

Tipo de suelo	% VP	cm de agua por cada 30 cm de suelo para llenar VP
Arenoso (>95% arena)	35	$(0.35 \times 30) = 10.5$
Franco arenosa	38	11.4
Arenoso franco	42	12.6
Franco	45	13.5
Arcilloso	50	15.0

VP equivalente de agua requerido para lixiviar el 70% de las sales totales disueltas.

Arenoso (>95% arena)	0.7
Franco arenosa	1.0
Arenoso franco	1.0 - 1.25
Franco	1.5 - 2.5
Arcilloso	2.5 - 4.0

Ejemplo

Un green de alto contenido en arenas requiere un lavado de sales hasta una profundidad de 40 cm para que lleguen al sistema de drenaje. VP = 35% = 10.5 cm de agua por cada 30 cm de suelo, luego para 40 cm sería:

$(10.5 \text{ cm de agua}) \times 40/30 = 14 \text{ cm de agua para rellenar los poros de 40 cm}$

Para un green de alto contenido en arenas (>95% arena) el equivalente de 0.7 el VP se usa para conseguir la lixiviación de aproximadamente el 70% de las sales solubles totales, por lo que:

$(14 \text{ cm de agua}) \times 0.7 = 9.8 \text{ cm de agua que se debe aplicar para lavar el 70% de sales en una profundidad de 40 cm de suelo}$

Si solo se necesitara lavarse el 50% de las sales se ajustaría el VP equivalente, por ejemplo:

$(14 \text{ cm de agua}) \times (0.7 \times 50\%/70\%) = 7 \text{ cm de agua}$

Si los greens son de tierra (push-ups), el Vp equivalente sería 1.25 (asumiendo que son arenoso franco) y los cm de agua por cada 30 cm de suelo serían 12.6 cm.

Entonces, para lavar el 70% de sales:

$(12.6 \text{ cm de agua}) \times 40/30 = 16.8 \text{ cm de agua para rellenar los poros de 40 cm}$

$(16.8 \text{ cm de agua}) \times 1.25 = 21 \text{ cm de agua que se debe aplicar para lavar el 70% de sales en una profundidad de 40 cm de suelo}$

consecuencia es que los técnicos de mantenimiento deberían usar los periodos de lluvia para provocar y maximizar la lixiviación. Por ejemplo, tras una lluvia copiosa en la que se haya producido un lavado de sales adecuado trasladando las sales por debajo de la zona radicular, no deberían cesar los lavados de mantenimiento NL ni si quiera con la intención de reducir el consumo de agua. Por el contrario, la fracción NL debe seguir aportándose para evitar de nuevo la subida

por capilaridad de sales a la zona radicular. Si esta zona radicular se volviera a salinizar haría falta una gran cantidad de agua para una lixiviación de recuperación que consiguiera lo que el agua de lluvia había alcanzado.

En la discusión previa sobre las necesidades de agua para el mantenimiento NL y para la recuperación, se ha hecho hincapié en la cantidad total de sales solubles y su traslocación. Normalmente en el suelo se puede encontrar un amplio abanico de sales solubles. Sin embargo cuando un análisis de agua muestra la presencia dominante de cloro Cl, la cantidad de agua necesaria para provocar lixiviación es generalmente menor debido a la alta movilidad de este ion. Como aproximación podemos establecer que la necesidad de agua se puede reducir en un tercio durante un periodo de prueba y reajustado según resultados. Si eliminamos las quemaduras en las puntas de las hojas en las plantas que encontramos en nuestra zona podemos concluir que el lavado de Cl ha sido un éxito.

Una segunda forma de estimar la necesidad de agua para lixiviación de recuperación lo encontramos en la tabla 4. Este método tiene en cuenta el tipo de suelo, el porcentaje de sales a lavar y la profundidad de lavado. Sin embargo no tiene en cuenta la calidad del agua de lavado.

3. Programación de riego para una lixiviación efectiva. Para conseguir un lavado de sales eficaz es imprescindible contar con un sistema de riego eficiente y bien estructurado. La forma de aplicar el agua, incluso usando un sistema de riego bien diseñado, afecta sobre la cantidad de agua necesaria para conseguir una lixiviación efectiva. Las opciones para aplicar el agua necesaria para el lavado de recuperación o de mantenimiento NL son:

- *Aplicaciones copiosas de agua mediante aspersores* donde el suelo está esencialmente saturado o cerca de la saturación durante el periodo de lavado. Estas condiciones son similares a las que ocurren durante una lluvia copiosa o encharcamiento del suelo sobre la superficie del suelo. La aplicación de agua con este método requiere la mayor cantidad de agua para conseguir la

lixiviación, especialmente en suelos de textura fina. Bajo condiciones de saturación o cerca de la saturación el movimiento del agua se realiza primordialmente a través de los grandes macroporos y no entre estos, ósea microporos o entre los agregados del suelo. En suelos con alto contenido en arenas, donde no existen agregados sino partículas o granos de arena, el flujo saturado funciona mejor que en suelos de textura fina.

- *Riego a intervalos* en donde el agua se aplica en cantidades de 0.5 a 0.8 cm, con intervalos entre aplicaciones, y este ciclo se repite hasta que la cantidad de agua deseada es aplicada. La escorrentía a través de la superficie del suelo se minimiza. Generalmente el intervalo entre aplicaciones es de $\frac{1}{2}$ a 1 hora (arenas), 1 a 2 horas (franco arenosos y arenoso francos), 2 a 4 horas (francos) y 3 a 6 horas (arcillas). Un buen programa de verificación que mantenga una adecuada infiltración sin escorrentía reducirá el tiempo entre intervalos.

Con este tipo de riego el flujo de agua a través del suelo es principalmente insaturado, que se mueve como un frente mojante mas uniforme en sentido descendente. El movimiento del agua es a través de los microporos realizando un lavado más efectivo. El uso de mojanteres de suelo ayuda en el proceso de lixiviación. De hecho, en comparación con las aplicaciones copiosas de agua, el riego a intervalos necesita de $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$ de agua. Una lluvia ligera y continua puede simular un riego a intervalos siempre que la precipitación sea menor que la conductividad hidráulica de saturación del agua (la infiltración cuando el suelo está saturado).

En greens de alto contenido en arena, la zona de 2.5 a 5 cm de profundidad en la superficie es donde el movimiento del agua es mas lento. Si se ha realizado un programa de lixiviación de mantenimiento NL adecuado que haya evitado la acumulación de sales en superficie, sería beneficioso un programa de aerificación regular que consiga “macroporos” verticales o agujeros a lo largo de esta zona para permitir una infiltración rápida durante lluvias copiosas. El mantenimiento de un nivel de infiltración alto



también hace la programación del riego más fácil, pudiendo no ser necesario incluso un programa de riego a intervalos.

Si se dejara que las sales se acumulen en superficie por no aplicar suficiente NL (agua de lavado) entonces sería necesario un programa de riego a intervalos. Si intentáramos realizar una lixiviación mediante una aplicación de agua en grandes cantidades, la mayoría atravesaría la zona con alto contenido en sales a través de los agujeros del pinchado. El método de riego a intervalos sería mas adecuado porque conseguiría lavado entre agujeros del pinchado donde las sales se han acumulado.

4. La programación de riego para evitar suelos empapados es un reto, especialmente para suelos de textura fina. Cuando las sales se acumulan en la superficie del suelo y/o mas profundo en la zona radicular hasta alcanzar un punto donde el lavado de recuperación es necesario:

- Un buen programa de aerificación para permitir una rápida infiltración.
- Una aerificación profunda para conseguir la percolación del agua. También permitirá una mejor penetración del agua durante lluvias copiosas.



- Puede ser necesario la ampliación de líneas de drenaje adicionales para mantener las sales fuera de la zona radicular.

La lixiviación de recuperación normalmente conllevará condiciones temporales de encharcamiento en suelos de textura fina debido a la naturaleza de la lixiviación. Por eso la mejor forma de evitar condiciones de empapamiento es no necesitar estar en dicho programa. Esto se consigue mediante un programa NL continuo de mantenimiento que desplaza continuamente las sales de la zona radicular. Un programa de lixiviación de mantenimiento NL necesita mucha menos agua que el de recuperación y por lo tanto es menos probable que deje condiciones de encharcamiento.

A continuación se presentan consejos para la programación del riego en suelos arcillosos que incluyen los componentes de NL y ET.

- Cuando el agua de riego es moderada a alta en salinidad *programar el riego de tal forma que el tercio mas profundo de la zona radicular se expone solo a estrés moderado de humedad*. Los céspedes extraen agua primordialmente de los dos tercios mas superficiales de la zona radicular hasta que la humedad en esta

zona se ve limitada. Dado que la salinidad se concentra en la solución del suelo a medida que este se seca, allí donde el agua de riego sea mas salina se deberá con mas frecuencia (con menos caídas de humedad) que donde esta no tenga problemas de sales. Así si una zona recibe semanalmente agua no salina para reponer la ET de 7 días, otra con agua salina deberá regarse cada 5 para reponer la ET de esos días mas la NL adicional.

- *Cuando se aplica un riego, un programa a intervalos es preferible para conseguir una mejor lixiviación y evitar condiciones de encharcamiento*. El intervalo entre riegos se explicó anteriormente siendo de 2 a 4 horas (suelos francos) y de 3 a 6 horas (arcillas), con intervalos mayores en suelos compactos o afectados por Na^+ (suelos sódicos o comenzando a ser sódicos). Estos intervalos puede que permitan 2 o 3 aplicaciones por noche de 5 a 8 mm cada aplicación. Por eso puede que se necesiten un par de noche para poder aplicar el agua necesaria para el lavado (ET + NL). Otra posibilidad es hacer aplicaciones separadas durante el día cuando el campo esté cerrado (a menudo los lunes) a parte de las nocturnas. Por ejemplo, desde el

Domingo por la noche hasta el Martes por la mañana contamos con 32 horas para riegos a intervalos. Habría que considerar el limitar el tráfico de coches de golf y maquinaria agrícola durante algunos días después de una lixiviación copiosa.

- *El uso de la fracción NL en el programa normal de riego debe ser una práctica continua y rutinaria*, especialmente cuando: a) la calidad del agua de riego es alta en contenido total de sales o sodio, b) en suelos arcillosos especialmente los de arcillas tipo 2:1, y c) en suelos sódicos o comenzando a ser sódicos. Como ejemplo decir que una causa bastante normal para que ocurra la resalinización de la zona radicular o para que la lixiviación sea inefectiva sería la eliminación de la fracción NL en el riego después de una lluvia, con la consiguiente redistribución de las sales.
- *La aplicación de un exceso de riego NL debe empezar al comienzo de la temporada de crecimiento*, si la salinidad del suelo está a niveles aceptables. De lo contrario hay que comenzar con un programa de lixiviación de recuperación hasta que los niveles mejoren. Por eso la aplicación de NL debe comenzar pronto y mantenerse. Esto evitará la acumulación de sales hasta niveles perjudiciales durante los meses de verano con ET altas, en los que la lixiviación de recuperación es difícil.

5. La cantidad de agua de riego, influye obviamente en la efectividad de la lixiviación. Hasta ahora hemos apuntado que la *Cantidad de Riego (CR)* usada de forma rutinaria consistía en la reposición de las pérdidas por evapotranspiración (ET) más NL. Sin embargo un tercer factor condiciona las necesidades totales de riego. Este factor es la no uniformidad (eficiencia) del sistema de riego. El nivel de agua aplicada debe incrementarse por un Coeficiente de Programa (CP) que refleje la falta de uniformidad en la aplicación. De esta forma la cantidad de riego requerida será:

$$CR = CP(ET+NL) = \text{mm de agua de riego a aplicar.}$$

Donde CP es un factor parecido a 1.1 para



ajustar la no uniformidad del sistema de riego.

En aquellas zonas de césped que vayan a recibir agua de riego salina es esencial para el buen manejo de las sales y para el mantenimiento de un césped de buena calidad el identificar un correcta CR. *Una vez se ha conseguido unos niveles de salinidad aceptables, la primera causa que origina la resalinización es el riego posterior con insuficiente cantidad de agua (CR)*. Los técnico en mantenimiento deberían hacer un esfuerzo en pensar y trabajar en términos de *cantidad de agua* en vez de *minutos de riego*. El lavado de sales requiere una cantidad de agua adecuada, y solo con el seguimiento de la cantidad de riego aplicado se puede conseguir con confianza un programa de lavado a largo plazo.

Huck presenta una revisión excelente sobre *eficiencia en el sistema de riego* y las consideraciones de diseño. La no uniformidad en la aplicación del riego puede ser debida a varios factores incluyendo a) inadecuado espaciamiento de aspersores



para unas condiciones de viento y de presión hidráulica determinadas, considerando las pérdidas por fricción y por diferencias de cota, b) elección incorrecta del tipo de aspersor y boquilla, y c) mantenimiento del sistema de riego inadecuado con fugas, aspersores y boquillas deterioradas y mezcla de boquillas en el sistema. Un ajuste durante el diseño del sistema de riego y si fuera necesario después de la instalación puede mejorar la eficiencia y aumentar la lixiviación de sales.

Allí donde la uniformidad del riego sea pobre y no se pueda mejorar porque el sistema de riego es deficiente, el uso de mangueras con aspersores móviles puede ser un método para llevar agua a aquellas zonas con una mala cobertura. Aquellos sistemas que aplican agua a muy bajo caudal suelen ser más efectivos. Normalmente se colocan en la zona problemática y se dejan una noche encendidos.

El manejo de zonas específicas es importante en el manejo de sales para evitar zonas encharcadas. Algunos ejemplos son: a) sistemas de riegos duales para greens y antegreens. Lo ideal sería regar los greens con agua de buena calidad, pero incluso cuando antegreens y greens se riegan con

el mismo agua este sistema es de gran ayuda. b) Los taludes, las narices de los búnkers y en general las zonas con pendiente son un problema. Aquellas zonas enfrentadas al sur y oeste en el hemisferio norte son especialmente vulnerables a sufrir una mayor ET y a salinizarse. En aquellas campos donde el agua de riego vaya a ser de muy mala calidad los diseñadores deberían considerar como se va a regar de forma eficiente dichas zonas. c) En aquellas calles con pendientes enfrentadas al sur donde normalmente la ET es mayor el diseño debería acomodarse a esta necesidad. El uso de aspersores móviles puede garantizar el lavado de los greens sin causar el encharcamiento de los búnkers anejos a ellos o de las zonas de antegreens durante el proceso de lavado.

6. La infiltración, precolación y el drenaje del agua aplicada son esenciales para la lixiviación. El suelo de cada zona del campo debe ser analizado en busca de cualquier barrera que evite el movimiento del agua, comenzando con la infiltración. Carrow y Duncan han estudiado los problemas más comunes en suelos arenosos y suelos de textura fina que impiden el movimiento descendente a través de todo el perfil. Debe

asegurarse un programa de aerificación adecuado, la modificación de las características del suelo y las consecución de un buen drenaje para garantizar que el agua (y las sales) pueden moverse en sentido descendente.

7. Tanto el agua como las enmiendas del suelo han de ser analizadas para asegurar una infiltración adecuada y para facilitar la mejora de los suelos sódicos. Duncan et al. y Carrow y Duncan estudiaron las distintas situaciones que requerían el tratamiento de las aguas de riego. Son especialmente importante la selección de la enmienda apropiada (para el agua y el suelo), el método de aplicación y las cantidades, especialmente cuando nos encontramos con condiciones sódicas. Dada la compleja naturaleza de la aplicación de enmiendas, este tema sobrepasa el objetivo de este artículo. Sin embargo cabe destacar que el tratamiento de suelos y agua con enmiendas resulta inefectivo para aliviar problemas de salinidad si no seguimos un programa adecuado de lixiviación.

Tipo de césped

El manejo de la salinidad se ve influenciado por el tipo de césped, el tipo de sales presente, los factores de suelo y los factores de riego.

1. El factor mas importante según el tipo de césped y variedad en el manejo de la salinidad es la tolerancia de la hierba. Tal y como se demuestra en el ejemplo de la tabla 2, la NL se ve influenciada por el nivel de sales que el césped puede tolerar. El umbral CEe es usado como una guía y se define como la salinidad del suelo a la cual el crecimiento comienza a decaer comparado con un suelo no salino. Aquellos céspedes con una tolerancia a la salinidad de moderada a muy alta pueden ser regados incluso manteniendo la salinidad del suelo muy por encima de la CEe, quizás a niveles de CEe que reducen el crecimiento de un 25 a 50%. El vigor del césped y su tolerancia al pisoteo se deben considerar también a la hora de seleccionar la CEe apropiada de mantenimiento.

2. La profundidad de raíces influye en el manejo de la salinidad. Considerando que el suelo tiene humedad suficiente en el tercio

mas profundo de la zona radicular para evitar la concentración de sales (por ejemplo si esta zona se encuentra con una humedad alrededor a la Capacidad de Campo) la tolerancia a la salinidad está relacionada con la CEe media de la zona radicular, independientemente de la distribución de las sales en el suelo. Así, cuando monitorizamos la CEe del suelo a distintas profundidades en la zona radicular, la CEe media es el valor que se utiliza para comparar el nivel seleccionado de tolerancia a la salinidad del césped.

En especial cuando el agua de riego es altamente salina, se debe regar con un programa a intervalos para evitar la pérdida de humedad del suelo en el tercio mas profundo de la zona radicular. Si no es así nos arriesgaremos a sufrir estrés severo por salinidad. El riego a intervalos deberemos hacerlo con mas frecuencia que si estuviéramos bajo condiciones no salinas, con la CR (cantidad de riego) igual a la ET del último período mas la NL (necesidad de lavado). Además, un sistema radicular profundo permitirá un mayor número de días entre riegos que si el césped tuviera raíces poco profundas.

La profundidad de las raíces determina la zona radicular que necesita ser lavada por la cantidad de agua NL. Esta es la Ps (profundidad de suelo) que necesita ser mejorado o lavado en la Tabla 2 y la profundidad de lixiviación en la Tabla 3.

Monitorizando la salinidad del suelo

Para asegurar el éxito de un programa de manejo de la salinidad es fundamental monitorizar la salinidad del suelo según la profundidad. La profundidad del suelo para lo monitorización se determina según la profundidad de la zona radicular. Los niveles de CEe del suelo en el tercio superior e inferior de la zona radicular son los mas importantes. Carrow y Duncan, y Hanson et al., ofrecen métodos y procedimientos de muestreos para monitorizar la salinidad en campo. Para aquellos sitios donde la salinidad es un problema crónico sería interesante contar con instrumentos de medida in situ. J. D. Rhoades, del Laboratorio de Salinidad de U.S. ha desarrollado dos procedimientos: a) una sonda de salinidad de 4 electrodos, con la cual se puede medir la

salinidad a distintas profundidades, y b) un medidor de conductividad electromagnética para una medición rápida de superficie (hasta 0.9-1.2 metros). Vermeulen también presenta un barato medidor de conductividad útil para medir tanto la conductividad del agua de drenaje como la salinidad del suelo en campo.

Resumen

Para desarrollar un programa de manejo de salinidad es necesario considerar un número de factores de suelo, agua y césped. *El componente mas importante en el manejo de sales es la lixiviación de dichas sales.* A menos que las sales sean lavadas de forma continuada, ocurrirá la resalinización por la adición de sales en el agua de riego o por el movimiento capilar de éstas desde debajo de la zona radicular. La época de máxima resalinización y el consecuente receso del rendimiento del césped se producirá a mediados y final del verano. Esta es la peor época para sufrir estrés salino y la mas

desfavorable para un programa de recuperación por lixiviación. *La mejor opción para el manejo de la salinidad es un programa de mantenimiento rutinario y continuo usando una adecuada NL.* La razón mas común para no aplicar un volumen suficiente de agua de riego que lave las sales es la infravaloración de las ET diarias que repongan las perdidas de humedad por evapotranspiración, mas que la mala evaluación de la fracción NL de las necesidades de riego.

También vale la pena recordar que la mayoría de los principios aquí relatados fueron investigados y desarrollados para cultivos agrícolas donde el trafico de personas o de vehículos de labranza, así como la necesidad de mantener una superficie de juego se pueden controlar o no son un problema. Por ello los jugadores de golf deben entender que para llevar a cabo un programa de mantenimiento de sales las condiciones de juego se deben comprometer de cuando en cuando.

Por: R. N. Carrow y R. R. Duncan.

