

MANEJO DEL RIEGO EN ZONAS AMENAZADAS POR SALINIZACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO EL SISTEMA DE RECOMENDACIÓN *ON-LINE* DSS-SALTIRSOIL

Fernando Visconti Reluy

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

José Miguel de Paz Bécares

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

RESUMEN

La salinización del suelo por causa del riego es un grave problema que amenaza la sostenibilidad de la agricultura. Mitigar este problema pasa por asegurar un buen drenaje de los suelos, así como por aplicar las prácticas de manejo del riego y del cultivo más adecuadas según la calidad del agua, el clima y el suelo. Para ayudar a decidir a los agricultores, consultores y técnicos sobre las prácticas a aplicar en sus parcelas de interés se desarrolló un sistema de ayuda a la decisión *on-line* llamado DSS-SALTIRSOIL. El DSS-SALTIRSOIL está basado en el modelo SALTIRSOIL_M, el cual está vinculado a una base de datos de clima, suelo, agua de riego y cultivo propios de la Comunidad Valenciana. El sistema de recomendación DSS-SALTIRSOIL se aloja en el portal web AGROSAL. En el presente trabajo se muestra el portal, el modelo y el uso del sistema de recomendación simulando el cultivo del brócoli en la Vega Baja del Segura (Alicante). De acuerdo con las simulaciones realizadas la obtención de rendimientos óptimos para este cultivo en esta zona amenazada por salinización de los suelos es posible incrementando moderadamente la dosis de riego.

1. INTRODUCCIÓN

La salinidad del suelo es la concentración de sales disueltas en el agua de sus poros. Estas sales están formadas por los iones mayoritarios en las aguas naturales: sodio (Na^+), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}), calcio (Ca^{2+}), cloruro (Cl^-), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}). La concentración de estos iones en el agua edáfica se evalúa midiendo su conductividad eléctrica a 25 °C. Las sales de los suelos de regadío tienen su origen en el agua de riego, en los fertilizantes, en los minerales del suelo y en el agua freática.

La salinidad del suelo limita el desarrollo de las plantas. A medida que aumenta la salinidad del suelo disminuye el potencial de su agua y, en consecuencia, las raíces de las plantas la absorben con dificultad creciente. Este efecto osmótico se manifiesta como una disminución progresiva del desarrollo de las plantas. En los cultivos, a partir de cierto umbral de salinidad del suelo su rendimiento disminuye proporcionalmente a esta de acuerdo con el modelo de umbral y pendiente (*threshold-slope*). Cada cultivo responde de modo diferente a la salinidad, esto es, cada cultivo presenta una tolerancia distinta, la cual se caracteriza por unos valores específicos de umbral y pendiente (Maas y Hoffman, 1977).

La salinización de los suelos de regadío se entiende como el aumento progresivo de su salinidad a lo largo del tiempo. Esta salinización causada por el riego es el caso más generalizado de salinización secundaria y es consecuencia de: a) un drenaje imperfecto del suelo, b) una mala calidad del agua de riego, c) una aridez excesiva del clima, d) un riego inadecuado, e) una fertilización abusiva, o bien, de alguna combinación de estos factores. Además, otros problemas asociados como la sodificación, la alcalinización y las fitotoxicidades por cloruro y por boro, dependen prácticamente de los mismos factores de riesgo y, por lo tanto, se estudian junto con la salinización (van Beek y Tóth, 2012).

La salinización secundaria es una de las amenazas más importantes para la sostenibilidad de la agricultura (Mateo-Sagasta y Burke, 2012). A nivel mundial los problemas de salinidad afectan ya a entre el 10 y el 25% de las tierras de regadío y su extensión sigue aumentando (Metternicht y Zinck, 2003; Tanji y Wallender, 2012; AQUASTAT, 2018). En España existen varias zonas como la Vega Baja del río Segura en Alicante donde la salinización es un problema (de Paz et al., 2004).

La salinización de los suelos puede mitigarse mediante diferentes prácticas como: a) el drenaje de los suelos, b) el lavado de sales mediante el manejo conjunto del riego y el drenaje, y c) el cambio a un agua de riego menos salina. Además, también existe la posibilidad de adaptación mediante el cambio a un cultivo más tolerante a la salinidad. En primer lugar, en los suelos imperfectamente drenados el nivel freático suele situarse a poca profundidad. Esto favorece que el agua de riego no fluya hacia abajo en el perfil del suelo sino que más bien, se evapore desde sus horizontes superficiales, quedando en el suelo las sales que llevaba disueltas. Por ello es necesario favorecer artificialmente la evacuación del agua de los suelos cuya capacidad natural de drenaje es insuficiente. En segundo lugar, una vez se ha asegurado un buen drenaje del suelo, se puede llevar a cabo la práctica del lavado de sales regando con un cierto exceso de agua. Esta cantidad extra de agua lixivia sales y las lleva hacia la profundidad del suelo y al drenaje, esto es, fuera del alcance de las raíces de las plantas. En tercer lugar, a veces ocurre que mediante el drenaje y el lavado de sales no se consigue bajar la salinidad del suelo lo suficiente como para tener unos rendimientos agrícolas adecuados. En este caso se deben seguir otras estrategias como utilizar un agua de riego menos salina, o bien cambiar a un cultivo más tolerante a la salinidad.

Para reducir la salinidad del suelo mediante el lavado de sales hay que conocer el requerimiento de lavado (RL), que se calcula como la fracción del agua de riego que debe drenar en profundidad para que la salinidad del suelo no supere un determinado valor. Este valor es el que proporciona un rendimiento de al menos el 90% del potencial del cultivo. Para calcular el RL existen diferentes métodos, el más conocido se concreta en la tradicional fórmula de Rhoades (1974). Como inconveniente, la ecuación de Rhoades calcula un RL sobre el ciclo completo del cultivo sin información temporal más detallada. Además, para conocer la dosis de riego requerida (R) el uso de la fórmula de Rhoades debe completarse con el de la ecuación $R = (ET/(1 - RL)) - P$, para lo cual hay que calcular aparte la evapotranspiración (ET), y conocer las precipitaciones (P).

Por otro lado, la salinidad de los suelos, así como su sodicidad, alcalinidad, y concentración de cloruro y boro pueden predecirse mediante el uso de modelos de simulación. Estos modelos simulan el flujo en el suelo tanto del agua como de los iones mayoritarios, así como del boro en su caso. Estos modelos pueden simular el flujo de agua y sales mediante la resolución numérica, respectiva, de las ecuaciones de Richards y de convección-dispersión o, alternativamente, mediante el cálculo, también respectivo, con un algoritmo capacitivo y otro de tipo flujo pistón.

Un ejemplo de modelo de simulación que usa estos algoritmos es SALTIRSOIL_M. Este modelo fue desarrollado para predecir la acumulación mensual de sales en suelos agrícolas de regadío bien drenados (Visconti et al., 2012a). SALTIRSOIL_M es un modelo unidimensional de estado transitorio con periodicidad de cálculo mensual que tiene en cuenta el manejo del riego, las características de precipitación y evapotranspiración del clima, las propiedades hidrofísicas y mineralógicas básicas del suelo, las características del cultivo y su manejo, así como la concentración de los iones mayoritarios en el agua de riego. El modelo SALTIRSOIL_M ha sido validado para las condiciones de cultivo de la Comunidad Valenciana, específicamente en la zona de la Plana Alta de Castellón y en la Vega Baja del Segura en Alicante (Visconti et al., 2010; Visconti et al., 2012b; Visconti et al., 2014).

Este modelo conforma el núcleo del sistema de ayuda a la decisión DSS-SALTIRSOIL, el cual se aloja en el portal de Internet AGROSAL (agrosal.ivia.es). El objetivo del presente trabajo es difundir las características y los fundamentos, así como mostrar la utilidad práctica del sistema de recomendación *on-line* DSS-SALTIRSOIL.

2. EL PORTAL AGROSAL

El portal AGROSAL es un sitio en Internet desde el cual se divulga el estado actual de los conocimientos sobre la salinidad de los suelos para la comunidad hispanohablante (<http://agrosal.ivia.es/>). En el portal AGROSAL se ofrece información sobre la extensión, causas, efectos, métodos de evaluación y medidas para paliar los problemas de salinidad así como aquellos otros relacionados: sodicidad y fitotoxicidad por cloruro (Fig. 1). Este portal constituyó la entrega final de un proyecto nacional coordinado entre el Centro de Investigaciones sobre Desertificación-CIDE y el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias-IVIA (MINECO, 2009). El portal AGROSAL se estructura en varias secciones de contenido a las cuales se accede mediante el menú de navegación bajo el encabezado de la página principal. Estas secciones son ‘Inicio’, ‘Conceptos’, ‘Recomendaciones’, ‘DSS-SALTIRSOIL’, ‘Datos CV’, ‘Glosario’, ‘FAQ’, ‘Links’ y ‘Contacto’, de las cuales se da una breve descripción a continuación.

Mediante la pestaña ‘Inicio’ se da entrada al portal AGROSAL. En esta sección se presentan los autores, los proyectos de investigación que han desarrollado y su producción científico técnica sobre el tema de la salinidad de los suelos.

En la sección ‘Conceptos’ se tratan la salinidad, su origen, los factores que influyen en su aparición y desarrollo, los efectos que ocasiona sobre los cultivos y la tolerancia de estos a la misma, cómo se evalúa, cuál es su extensión geográfica, etc.

En la pestaña ‘Recomendaciones’ se presentan una serie de medidas genéricas de manejo agrario para la mitigación y adaptación a los problemas de salinidad en la agricultura.

En la sección ‘DSS-SALTIRSOIL’ se da acceso al sistema de ayuda a la decisión para la recomendación del manejo del riego y el suelo en zonas amenazadas por salinización DSS-SALTIRSOIL. Mediante este sistema los usuarios puedan estimar, de forma bastante sencilla, los niveles de salinidad del suelo de su parcela en función del clima, suelo, cultivo, agua de riego y manejo del riego y el cultivo. Esta aplicación se describe más en profundidad en el apartado 4 de este trabajo.

Desde la sección ‘Datos CV’ se puede consultar una base de datos con información de suelos, aguas de riego y cartografía de salinidad de la Comunidad Valenciana. En la pestaña ‘Glosario’ se encuentra la definición de muchos de los términos que se utilizan habitualmente para tratar el tema de la salinidad del suelo.

En la sección FAQ (*Frequently Asked Questions*/Preguntas Frecuentes) se trata de responder a algunas cuestiones que habitualmente se plantean acerca de la salinidad de los suelos como, p.ej., ¿en condiciones de salinidad qué es mejor, el riego por goteo o a manta?, ¿cómo funcionan los productos desalantes?, ¿por qué se pueden “subir” las sales después de una lluvia?

En la sección ‘Links’ se presentan algunos vínculos a otros sitios de Internet que también tratan sobre la salinidad de los suelos, así como a varios modelos de simulación y referencias bibliográficas útiles para aquellos usuarios que quieran ampliar información.

Finalmente, a través de la sección ‘Contacto’ el usuario puede interactuar con los autores del portal web. Rellenando el formulario se pueden realizar consultas sobre problemas de salinidad y también solicitar las claves de acceso a la aplicación DSS-SALTIRSOIL.

3. EL MODELO SALTIRSOIL_M

El modelo SALTIRSOIL_M está integrado por dos submodelos. El primer submodelo simula el flujo de agua y sales en el suelo a lo largo de los meses del año mediante, respectivamente, un algoritmo capacitivo, de cascada o *tipping-bucket* y un algoritmo flujo pistón modificado. El segundo submodelo calcula composiciones iónicas en equilibrio químico y la conductividad eléctrica a 25 °C del agua del suelo.

3.1. Submodelo de flujo de agua y sales en el suelo

En este primer submodelo el algoritmo capacitivo divide el suelo desde su superficie hasta la profundidad L en un número n de capas de grosor uniforme, siendo los valores tanto de n como de L elegidos por el usuario. El balance de agua de cada una de las capas se resuelve en secuencia de tal manera que se obtiene el volumen de agua medio y el flujo de agua que drena cada capa j de suelo en cada mes i del año, respectivamente, $V_{i,j}$ y $D_{i,j}$. A partir de esta información es posible simular el movimiento de las sales. Con los resultados del balance de agua, el algoritmo flujo pistón modificado de SALTIRSOIL_M simula el flujo de sales desde la capa más superficial del suelo (capa 1) resolviendo, en primer lugar, el siguiente balance de materia:

$$n_{i,1} = n_{i-1,1} + R_i C_{Ri} - D_{i,1} C_{i,1} \quad [1]$$

donde $n_{i,1}$ es la cantidad sales en la capa 1 el mes i , $n_{i-1,1}$ es la cantidad de sales en la capa 1 el mes anterior, R_i es la dosis de riego el mes i , C_{Ri} es la concentración salina del agua de riego el mes i , $D_{i,1}$ es el flujo de agua que drena la primera capa de suelo el mes i y $C_{i,1}$ es su salinidad. La concentración salina $C_{i,1}$ puede despejarse de la ecuación 1 para obtener la ecuación 2:

$$C_{i,1} = C'_{i-1,1} + \frac{R_i C_{Ri}}{V_{i,1}} - \frac{D_{i,1} C_{i,1}}{V_{i,1}} \quad [2]$$

donde las cantidades de sales se han dividido por el volumen medio de agua de la capa 1 ($V_{i,1}$) y $C'_{i-1,1}$ es la cantidad de sales del mes anterior ($i - 1$) dividida por el volumen medio de agua de la capa 1 el mes actual (i). Esta ecuación puede reordenarse de la

siguiente manera:

$$C_{i,1} = \frac{C'_{i-1,1} V_{i,1} + R_i C_{Ri}}{V_{i,1} + D_{i,1}} \quad [3],$$

y sustituyendo en esta ecuación la relación que existe entre las concentraciones salinas en el agua de la capa 1 el mes anterior ($i - 1$) y el presente (i) dada por:

$$C'_{i-1,1} = C_{i-1,1} \frac{V_{i-1,1}}{V_{i,1}} \quad [4],$$

se obtiene el número de veces que el agua de riego se concentra en el agua de los poros del suelo de la capa 1, es decir el factor $f_{i,1}$:

$$f_{i,1} = \frac{C_{i,1}}{C_{Ri}} = \frac{f_{i-1,1} V_{i-1,1} \frac{C_{Ri-1} + R_i}{C_{Ri}}}{V_{i,1} + D_{i,1}} \quad [5]$$

Para las siguientes capas j del suelo ($j \neq 1$) se simula el flujo de sales resolviendo un balance de materia similar al de la capa superficial del suelo:

$$n_{i,j} = n_{i-1,j} + D_{i,j-1} C_{i,j-1} - D_{i,j} C_{i,j} \quad [6]$$

Donde $D_{i,j}$ y $D_{i,j-1}$ son, respectivamente, el flujo de agua que drena en el mes i la capa de suelo j y la inmediatamente superior $j - 1$, y $C_{i,j}$ y $C_{i,j-1}$ son, respectivamente, las salinidades en mes i de la capa j y de la inmediatamente superior $j - 1$. Siguiendo los mismos pasos descritos anteriormente para el caso de la capa superficial del suelo podemos llegar a la siguiente ecuación que indica el número de veces que se concentra el agua de riego en el agua de la capa j el mes i .

$$f_{i,j} = \frac{C_{i,j}}{C_{Ri}} = \frac{f_{i-1,j} V_{i-1,j} \frac{C_{Ri-1} + D_{i,j-1} f_{i,j-1}}{C_{Ri}}}{V_{i,j} + D_{i,j}} \quad [7]$$

Como resultado de esta simulación se obtienen los factores $f_{i,j}$. Estos factores indican en qué medida el agua de riego se concentra en el agua del suelo de cada capa. El modelo promedia estos valores desde la superficie del suelo hasta la profundidad de enraizamiento del cultivo de cada mes. Esta concentración está referida al contenido calculado de agua del suelo. No obstante, en el sistema DSS-SALTIRSOIL se calculan los factores $f_{i,j}$ para el suelo saturado de agua. Para ello el modelo multiplica cada $f_{i,j}$ por el cociente $\theta_{sat,i}/\theta_{i,j}$ y luego promedia dentro de la profundidad de enraizamiento. Finalmente, este factor de concentración promediado mensual se multiplica por la concentración de cada uno de los iones del agua de riego obteniéndose una composición iónica que constituye la entrada para el segundo submodelo.

3.2. Submodelo de cálculo de equilibrio químico

La composición del agua del suelo obtenida en el paso final del primer submodelo no se encuentra en equilibrio con el CO₂ del suelo ni, en su caso, con sus minerales calcita (CaCO₃) y/o yeso (CaSO₄·2H₂O). En consecuencia, casi siempre se trata de una composición imposible. Para comprobar y, en su caso, realizar los ajustes oportunos en la composición iónica del agua del suelo, los datos de salida del primer submodelo son los de entrada del segundo submodelo, llamado SALSOLCHEM (Visconti et al., 2011). Como resultado se obtiene la composición iónica en equilibrio con el CO₂ del suelo y, contingentemente, con los minerales calcita y/o yeso. Finalmente, con esta composición iónica se calcula la conductividad eléctrica a 25 °C del agua del suelo (CE₂₅), que en el sistema DSS-SALTIRSOIL es la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (CE_{es}), la cual se utiliza internacionalmente como referencia para la evaluación de la salinidad del suelo.

4. EL SISTEMA DE RECOMENDACIÓN DSS-SALTIRSOIL

4.1. Descripción general

El sistema de ayuda a la decisión DSS-SALTIRSOIL se encuentra vinculado a una base de datos con información propia de la Comunidad Valenciana de calidad del agua de riego, clima, suelo y cultivo. Por lo tanto, el usuario únicamente necesita seleccionar los datos más apropiados para sus simulaciones. A continuación, se desarrolla paso a paso un ejemplo de aplicación del sistema de recomendación para el cultivo del brócoli en la Vega Baja del Segura.

4.2. Aplicación práctica

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) es una planta herbácea anual cuya inflorescencia es muy apreciada en alimentación humana. En España se cultivan anualmente unas 40.000 ha de brócoli, principalmente en Murcia y zonas aledañas como la Vega Baja del Segura en Alicante (Marcos, 2016). Las semillas de brócoli se cultivan inicialmente en semillero, y se trasplantan al campo durante el verano. El ciclo de cultivo concluye al final del invierno o la primavera (Fernández de Sousa y García, 2016).

The image shows the AGROSAL website interface. At the top left is the logo 'AGROSAL La Salinidad en la Agricultura'. To the right is a banner image of a field and the logo for 'GENERALITAT VALENCIANA CONSELLERIA DE PRESIDENCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIO I BARRIA'. Below this is a green navigation bar with links: Inicio, Conceptos, Recomendaciones, DSS-SALTIRSOIL, Datos CV, Glosario, Faq, Links, Contacto. The main content area has a sub-navigation bar with tabs: Inicio, General (selected), Clima, Cultivo, Suelo, Agua Riego, Evaluación de la Salinidad y Recomendaciones, Optimización del Riego. The 'General' tab contains a form with the following fields: 'Nombre de la simulación:' with the value 'Brócoli-Almoradí', 'Provincia:' with a dropdown menu showing 'Alicante', 'Término municipal:' with a dropdown menu showing 'Almoradí', and 'Profundidad de la simulación:' with a dropdown menu showing '60' and the unit 'cm.'. Below the form is a blue button labeled 'Guardar >>'. At the bottom of the page, there is a small text block: 'Proyecto del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO). Desarrollado en el Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible (CDAS) del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias - IVIA y Centro de Investigaciones sobre Desertificación - CIDE (CSIC, UV, GV)'.

Figura 1. Pestaña ‘General’ del DSS-SALTIRSOIL.

El brócoli se clasifica como un cultivo moderadamente sensible a la salinidad del suelo con umbral de 2,8 dS/m y pendiente de 9,2 (Maas y Hoffman, 1977). Tanto para conocer qué limitaciones por salinidad puede haber para su cultivo en el término de Almoradí (Vega Baja del Segura), como para conocer el manejo óptimo de riego que minimice la salinidad, podemos usar el sistema DSS-SALTIRSOIL. Para utilizarlo en primer lugar solicitamos nuestras claves de usuario al administrador del portal AGROSAL a través del formulario de contacto. Una vez disponemos de dichas claves accedemos al sistema de recomendación pulsando en la pestaña correspondiente de la página ‘Inicio’ del portal. Introducimos las claves y pulsamos ‘Iniciar sesión’.

La primera pestaña del sistema se llama ‘General’ y en ella se nos solicita un nombre para la simulación. Además, aquí seleccionamos la provincia, el término municipal, así como un valor para la profundidad de simulación. En nuestro caso escogemos como nombre de la simulación “Brócoli-Almoradí”, como provincia “Alicante”, como término municipal “Almoradí” y como profundidad de simulación 60 cm (Fig. 1). A continuación pulsamos el botón ‘Guardar >>’ y pasamos a la siguiente pestaña.

La segunda pestaña del sistema se llama ‘Clima’ y en ella se nos solicita que escojamos la estación meteorológica de la red SIAR así como el año del cual el DSS tomará los datos meteorológicos para realizar la simulación. En nuestro caso seleccionamos “Almoradí” y “2017” desplegándose una tabla resumen mensual con los datos de precipitación, número de días de lluvia, temperatura máxima y mínima media así como evapotranspiración de referencia para dicha estación en 2017 (Fig. 2). A continuación pulsamos el botón ‘Guardar >>’ y pasamos a la siguiente pestaña.

AGROSAL
La Salinidad en la Agricultura

GENERALITAT VALENCIANA
CONSSELLERIA DE PRESIDENCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGÜA

Inicio Conceptos Recomendaciones **DSS-SALTIRSOIL** Datos CV Glosario Faa Links Contacto

Inicio General **Clima** Cultivo Suelo Agua Riego Evaluación de la Salinidad y Recomendaciones Optimización del Riego

Estación Meteorológica: Almoradí Año: 2017

Mes	Precipitación (mm)	Numero días lluvia	Temp. max (°C)	Temp. min (°C)	ET0 (mm)
Enero	100.9	6	20.70	0.18	44.7
Febrero	2.1	1	22.55	5.74	57.6
Marzo	59.3	3	32.99	5.80	92.3
Abril	4.5	2	26.50	8.28	105.6
Mayo	0	0	32.39	11.23	153.7
Junio	3.9	1	39.29	14.96	178.9
Julio	1	1	39.69	14.29	179.1
Agosto	35	2	42.24	17.23	152.4
Septiembre	9.3	2	38.55	16.83	119.8
Octubre	4.1	2	29.72	13.15	78.8
Noviembre	11.5	2	25.64	5.40	51.9
Diciembre	0.6	1	22.84	2.59	48.5
Total:	232.2	23	28.70	8.90	1263.3

Información climática procedente del Servicio de Tecnología de Riegos (Conselleria d'Agricultura, Pesca, Alimentació i Aigüa)

Guardar >>>

Proyecto del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO).
Desarrollado en el Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible (CDAS) del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias - IVIA
y Centro de Investigaciones sobre Desertificación - CIDE (CSIC, UV, GV).

Figura 2. Pestaña 'Clima' del DSS-SALTIRSOIL.

La tercera pestaña del sistema se llama 'Cultivo' y en ella se nos solicita que escojamos e introduzcamos los datos básicos del manejo del cultivo y el riego. En primer lugar, seleccionamos como cultivo el "Brócoli", y se nos muestra como duración orientativa del cultivo 135 días. Esta duración podemos cambiarla para que refleje la situación real en nuestra zona de cultivo. En nuestro caso ponemos 200 días. Seguidamente, seleccionamos como fecha de inicio del cultivo el 1 de septiembre. En segundo lugar, seleccionamos el sistema de riego, que para nuestra simulación es goteo. Al seleccionar goteo hemos de especificar la dosis mínima de cada riego y el número máximo de riegos al mes. Además, tenemos que especificar otros parámetros de manejo del cultivo como son porcentaje de área sombreada, de suelo mojado, etc. (Fig. 3). Una vez completados todos estos datos pulsamos el botón 'Calcular Riego' y se despliega una tabla con la programación de riegos mensual (Fig. 3). Se observa como el riego total ascendería a 218 L/m² y se daría fundamentalmente durante el otoño. La tabla podemos editarla pulsando dos veces sobre la celda que interese. Seguidamente pulsamos el botón 'Guardar >>>' y pasamos a la siguiente pestaña.

AGROSAL
La Salinidad en la Agricultura

GENERALITAT VALENCIANA
CONSELLERIA DE PRESIDÈNCIA I AGRICULTURA, PESCA, ALIMENTACIÓ I AIGÜA

Inicio Conceptos Recomendaciones **DSS-SALTIRSOIL** Datos CV Glosario Faq Links Contacto

Inicio General Clima **Cultivo** Suelo Agua Riego Evaluación de la Salinidad y Recomendaciones Optimización del Riego

Cultivo: Brocoli
Duración cultivo: 200 días.
Inicio cultivo: 01/09/2017
Fin cultivo: 19/03/2018

Tipo riego: goteo
Dosis min. de cada riego: 01 mm.
Nº max. riegos / mes: 20
Calcular Riego

Cultivo hortofrutícola
Porcentaje área sombreada: 80 %
Porcentaje suelo mojado: 15 %
Distancia entre plantas: 0.5 m.
Distancia entre líneas: 1 m.
Marco de plantación: 0.5 m.
Nº gateros por metro lineal: 0.5
Nº líneas gatero por línea de plantas: 1
Caudal del gatero: 4 l/h.

ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO **SEP** OCT NOV DIC

Planificación del riego

Mes	Clima (mm)		Coef. Cultivo	ET Cultivo	Riego		
	Precipitación	ET0			Riego (l/m ²)	Frecuencia (días)	Horas / mes
Enero	100.9	44.7	0.89	39.8	0	0	0
Febrero	2.1	57.6	0.84	48.5	46.5	19	19.4
Marzo	59.3	92.3	0.57	52.3	0	0	0
Abril	4.5	105.6	0	0	0	0	0
Mayo	0	153.7	0	0	0	0	0
Junio	3.9	178.9	0	0	0	0	0
Julio	1	179.1	0	0	0	0	0
Agosto	35	152.4	0	0	0	0	0
Septiembre	9.3	119.8	0.61	72.7	63.4	20	26.4
Octubre	4.1	78.8	0.64	50.6	46.4	19	19.4
Noviembre	11.5	51.9	0.73	38	26.5	11	11
Diciembre	0.6	48.5	0.73	35.4	34.8	14	14.5
Total:	232.2	1263.3	0.39	337.3	217.6	83	

Información climática procedente del Servicio de Tecnología de Riegos (Conselleria d'Agricultura, Pesca, Alimentació i Aigüa)

Guardar >>

Proyecto del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO).
Desarrollado en el Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible (CDAS) del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias - IVIA
y Centro de Investigaciones sobre Desertificación - CIDE (CSIC, UV, GV).

Figura 3. Pestaña 'Cultivo' del DSS-SALTIRSOIL.

La cuarta pestaña del sistema se llama 'Suelo' y en ella se nos solicita que escojamos entre varios de los suelos representativos del término municipal donde se encuentran las parcelas. En nuestro caso escogemos el suelo "Franco arcillo limoso (Permeabilidad: Baja)" y se despliega una tabla donde se muestran las características de este suelo en función de la profundidad. A continuación pulsamos 'Guardar >>' y pasamos a la siguiente pestaña.



Figura 4. Pestaña ‘Evaluación de la Salinidad y Recomendaciones’ del DSS-SALTIRSOIL.

La quinta pestaña del sistema se llama ‘Agua Riego’ y en ella se nos solicita que escojamos una calidad de agua de riego. Para ello en primer lugar seleccionamos la Unidad de Demanda Agraria (UDA) en la cual se encuentran nuestras parcelas, a continuación el origen del agua, esto es, si es subterránea, superficial o de depuradora, y finalmente la salinidad de dicha agua, es decir, su conductividad eléctrica a 25 °C o sales totales. En nuestro caso seleccionamos la UDA “Tradicional Vega Baja”, “Superficial” y “3.32 dS/m – 2.12 mg/L” como salinidad de esta agua. Salinidades por encima de 3 dS/m son típicas del agua del río Segura durante el otoño-invierno (Visconti et al., 2014). A continuación el sistema despliega hacia la derecha de la pantalla una tabla con la concentración de cada uno de los iones en el agua de riego, además de otros parámetros informativos de la calidad de dicha agua.

Una vez seleccionados todos los datos necesarios pulsamos el botón ‘Evaluar y Recomendar’ y el sistema realiza la simulación, cuyos resultados se muestran en la pestaña ‘Evaluación de la Salinidad y Recomendaciones’ (Fig. 4). De acuerdo con la evaluación el suelo de la parcela de brócoli presentaría una salinidad moderada con una

pérdida de producción del 21%. El sistema acompaña la presentación de este resultado con varias gráficas que ilustran como variaría la salinidad, la sodicidad y el cloruro en el suelo de la parcela a lo largo del año (Fig. 4). En estas se ve como la salinidad del suelo aumenta durante el otoño para superar los 5 dS/m de CE_{es} . Los resultados de esta simulación los podemos descargar en un documento 'pdf' pulsando el botón 'Informe PDF'. Junto con los resultados el sistema ofrece también varias recomendaciones de manejo para mitigar o adaptarse a los problemas de salinidad en nuestra parcela. Estas son 'Optimizar el riego para lavar sales del suelo', 'Cambiar a un agua de riego de salinidad más baja' y 'Cambiar a otro cultivo o patrón más tolerante a la salinidad' (Fig. 4). Como aumentar la dosis de riego es la solución más fácil de las tres, comprobamos qué resultados se obtendrían pulsando para ello el botón 'Optimizar Riego'.

Los resultados de la optimización se muestran en la última pestaña llamada 'Optimización del Riego'. De acuerdo con esta, sí sería posible obtener rendimientos aceptables de brócoli, es decir, superiores al 90% aumentando la dosis de riego. Este aumento sería de tan solo 77 L/m², es decir un 35% más para un total de 295 L/m².

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han mostrado las características principales del portal AGROSAL, así como del sistema de ayuda a la decisión DSS-SALTIRSOIL y del modelo SALTIRSOIL_M en el cual está basado. Para mostrar el uso del sistema de recomendación se ha simulado el cultivo del brócoli en una zona amenazada por salinización del suelo como es la Vega Baja del Segura (Alicante). Como resultado se ha puesto de manifiesto como un aumento moderado de la dosis de riego es capaz de lavar suficientes sales del suelo como para asegurar una productividad óptima del brócoli en esta zona. El uso de sistemas de ayuda a la decisión basados en modelos validados como el DSS-SALTIRSOIL constituye una valiosa ayuda para la planificación de las prácticas de manejo del riego y el cultivo en zonas amenazadas por salinización del suelo.

REFERENCIAS

- AQUASTAT. (2016). FAO's Information System on Water and Agriculture [WWW Document]. FAO, Roma.
- DE PAZ, J.M., VISCONTI, F., ZAPATA, R. and SÁNCHEZ, J. (2004). Integration of two simple models in a geographical information system to evaluate salinization risk in irrigated land of the Valencian Community, Spain. *Soil Use and Management*, 20(3), 333-342.
- FERNÁNDEZ DE SOUSA, M. y GARCÍA GONZÁLEZ DE LENA, G. (2016). *Tecnología agroalimentaria: Boletín informativo del SERIDA*, 18, 15-16.

- MAAS, E.V. and HOFFMAN, G.J. (1977). Crop salt tolerance - current assessment. *J. Irrig. And Drainage Div., ASCE* 103(IR2), 115-134.
- MARCOS, C. (2016). Brocolí: Nacido para emigrar. *Campo y Mecánica*, 121(3), 30-31.
- MATEO-SAGASTA, J. and BURKE, J. (2011). Agriculture and water quality interactions: a global overview. *SOLAW Backgr. Themat. Rep. - TR08*. FAO, Roma.
- METTERNICHT, G.I. and ZINCK, J.A. (2003). Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85(1), 1-20.
- MINECO. (2009). Desarrollo de un sistema de ayuda a la decisión en el manejo del suelo y el agua de riego en zonas agrícolas con problemas de salinidad: DSS-SALTIRSOIL, referencias CGL2009-14592-C02-01 y CGL2009-14592-C02-02. *Ministerio de Ciencia e Innovación*, Madrid.
- RHOADES, J.D. (1974). Drainage for salinity control. En J. van Schilfgaarde, *Drainage for agriculture. Agronomy Monograph No. 17*, 433-461. SSSA, Madison.
- TANJI, K.K. and WALLENDER, W.W. (2012). Nature and extent of agricultural salinity and sodicity. En W.W. Wallender y K.K. Tanji, *Agricultural salinity assessment and management* 2nd Ed., 1-25. ASCE, EWRI, Reston.
- VAN BEEK, C.L. and TÓTH, G. (Eds.). (2012). Risk Assessment Methodologies of Soil Threats in Europe. *JRC Scientific and Policy Reports EUR*. Office for Official Publication of the European Communities, Luxemburgo.
- VISCONTI, F. and DE PAZ, J.M. (2012a). Soil, Water and Crop Management for Agricultural Profitability and Natural Resources Protection in Salt-Threatened Irrigated Lands. En: Manish Kumar, *Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management*, 293-310. Intech, Rijeka.
- VISCONTI, F., DE PAZ, J.M., MARTÍNEZ, D. and MOLINA, M.J. (2014). Irrigation recommendation in a semi-arid drip-irrigated artichoke orchard using a one-dimensional monthly transient-state model. *Agricultural Water Management*, 138, 26-36.
- VISCONTI, F., DE PAZ, J.M., MOLINA, M.J. and SÁNCHEZ, J. (2010). Validation of SALTIRSOIL for the calculation of salt composition and electrical conductivity in horticultural soils. En R.J. Gilkes y N. Prakongkep. *Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science "Soil Solutions for a Changing World", Working Group 3.4: Global changes and soil salination*, 61-64. IUSS, Brisbane.
- VISCONTI, F., DE PAZ, J.M., MOLINA, J.M. and SÁNCHEZ, J. (2012b). Advances in validating SALTIRSOIL at plot scale: first results. *Journal of Environmental Management* 95(Supplement), S31-S36.
- VISCONTI, F., DE PAZ, J.M., RUBIO, J.L. and SÁNCHEZ, J. (2011) SALTIRSOIL: a simulation model for the mid to long-term prediction of soil salinity in irrigated agriculture. *Soil Use and Management*, 27(4), 523-537.

