

VALIDACIÓN DEL MODELO LEACHM PARA PREDECIR LA SALINIDAD EN UN SUELO DEL VALLE DE QUIBOR, CON CULTIVO DE CEBOLLA BAJO RIEGO LOCALIZADO

**Luís Rázuri Ramirez¹, José Grismaldo Linares D.¹, José G. Rosales¹,
Edgar Romero C.²², José D. Hernández¹.**

RESUMEN

El estudio considera la modelación de la salinidad en un suelo arcilloso del Valle de Quibor, utilizando el modelo predictivo LEACHM. (Huton y Wagenet, 1992). El suelo en el cual se desarrollo el cultivo, pertenece a la serie Quibor que representa el 40% del Valle en conjunto con la serie Chaimare, este se clasifica como Typic Haplocambids, arcilloso fino, isohipertérmico, con una conductividad eléctrica de 6,5 dS/m, con presencia dominante de la sal sulfatos de calcio. El sistema de riego es del tipo localizado de alta frecuencia a través de cintas de goteo, con agua de pozo clasificada como C₃S₁, salina, sin presentar posibles problemas de sodio.

El cultivo de cebolla *Allium cepa* L. se estableció en la finca “El Caujalar”. En el ciclo vegetativo del cultivo se realizaron evaluaciones de salinidad sobre los bancales o camas de siembra, para ello se utilizaron equipos de medición en campo y muestreos de suelos y agua de riego para análisis de laboratorio. La evolución de la dinámica de sales se midió en periodos continuos, en las distintas etapas fenológicas del cultivo, dando como resultado que el mantener una humedad cercana a capacidad de campo, minimiza la CE en la zona radicular del cultivo.

El modelo empleado es el LEACHM Hutson & Wagnet (1992) y se utiliza como herramienta de diagnóstico. Los datos del perfil de suelo seleccionado fueron introducidos en el fichero de entrada junto con otros datos de riego y

¹CIDLAT-ULA Apartado 219, Mérida,

²ILAP-ULA, Mérida,

clima. En la calibración se tuvo en cuenta todos los parámetros susceptibles de ajuste, algunos de ellos fueron optimizados mediante análisis de sensibilidad.

Para la validación del modelo se especificaron, como fechas de salida, las correspondiente a las fechas de monitoreo para compáralos con los datos obtenidos por el perfil. y evaluar el riesgo de salinización.

Palabras Clave: salinidad, modelos, cebolla, riego localizado, Valle de Quibor.

VALIDATION OF THE MODEL LEACHM TO PREDICT THE SALINITY IN A SOIL OF THE VALLEY DE QUIBOR, IN THE ONION CROP UNDER DRIP IRRIGATION

Luís Rázuri Ramirez¹, José Grismaldo Linares D.¹, José G. Rosales¹,
Edgar Romero C.², José D. Hernández¹.

ABSTRACT

This study was carried out in order to model soil salinity in a loamy soil of the farm El Caujaral in Valley of Quibor, Venezuela, using the prediction model LEACHM presented by Huton and Wagenet in 1992, used as tool of diagnostic. The soil belongs to the series Quibor, classified as a heavy fine, isohyperthermic Typic Haplocambids, presents an electric conductivity (EC) of 6,5 dS/m, with dominancy of calcium sulfates. The irrigation system was drip irrigation with high frequency of application, using spring saline water classified as C3S1, which means no sodium hazard. In the soil seeding beds, during the vegetative cycle of the onion crop (*Allium stump* L.) were carried out the evaluations of salinity, taking samples of soil and water for laboratory analysis. The evolution of the dynamics of salts was measured in continuous periods, in the different phenologic stages of the crop. The results show that maintaining soil water near to field capacity, minimizes the EC in the crop root zone. By means of the prediction model LEACHM. The data of selected soil profile were introduced in the entrance file together with other irrigation and climate data. In the calibration process, some of the susceptible parameters of adjustment, were optimized by means of analysis of sensibility. For the model validation, it was specified, as exit dates, those corresponding to the monitoring dates in order to compare them with the data obtained from the soil profile and to evaluate the salinization hazard.

Key Word: salinity models, onion, drip irrigation, Valley of Quibor.

¹CIDLAT-ULA Apartado 219, Mérida,

²ILAP-ULA, Mérida,

INTRODUCCIÓN

La salinización secundaria generalmente se produce por el riego con aguas de baja calidad, por Fertirrigación, por ascenso capilar o por la falta de un adecuado drenaje. Ayer & Wescot (1985).

La problemática de los suelos salinos es conocida desde hace mucho tiempo pero fue a finales del siglo XIX, principios del siglo XX que fue conceptualizado por Hilgar, De Sigmond, entre otros. Pero en el año 1954 en el documento de “Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soil”, publicado por U.S. Salinity Laboratory of Riverside, que se establece las base teóricas y prácticas para el diagnóstico y para el asesoramiento acerca de cómo manejar estos suelos, Porta (1999).

El modelo seleccionado ha sido el modelo LEACHM desarrollado por Hutson and Wagenet (1992). Este modelo considera algunos procesos que suceden en el sistema suelo-planta-atmósfera, destacando los procesos de transporte de agua y solutos, la absorción iónica, la especiación química la evaporación y la transpiración del cultivo.

La selección del mismo se basó en la amplia aceptación de la comunidad científica por haber sido calibrado y validado en numerosas ocasiones. Este modelo utiliza la ecuación de Richards para transporte de agua y la ecuación de convección-dispersión para transporte de solutos utilizando el cálculo numérico diferencial mediante aproximaciones algebraicas. Permite introducir modificaciones en las ecuaciones y rutinas calibrando el modelo para cada zona de estudio. Además permite la incorporación de las rutinas de nutrientes y pesticidas.

Este modelo tiene algunas limitaciones como por ejemplo, la ecuación de Richards no tiene en cuenta la fracción gruesa. Esto puede influir en el cálculo de la permeabilidad y del flujo del agua sobre todo el suelo con abundante fragmentos gruesos. Esta ecuación no considera el fenómeno de histéresis que se produce por las variaciones de la humedad entre los periodos secos y periodos húmedos y por las fluctuaciones de la capa freática Hurtado (2002). Tampoco simula el flujo preferencial del agua que puede ocurrir a través de canales y las macro porosidades (bypass-flow).

El modelo LEACHM, es un modelo de investigación que describe el régimen hídrico utilizando un sofisticado algoritmo para describir el movimiento de agua, la química y el transporte de solutos en suelos insaturados o parcialmente saturados con profundidad hasta de dos metros, Hutson & Wagenet (1992) y sus siglas significan Leaching Estimation And Chemistry Model.

Una de las ventajas de los modelos numéricos que usan elementos finitos es que se puede dividir el perfil de suelo en polígonos o celdas. Los valores que se encuentran dentro de la celda se determinan por interpolación entre los puntos de los nodos.

Por otra parte los modelos 1-D son los más utilizados y desarrollados, estos determinan en su desarrollo una única salida del conjunto de datos de entrada.

Las entradas necesarias para el modelo LEACHM 1D, son las concentraciones de los iones calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfato y cloruro, alcalinidad (carbonatos y bicarbonatos), contenido de humedad en el suelo, presión parcial de CO₂.

Estas entradas, aunado con otros registros como son cantidad de fertilizantes, volumen de agua aplicada, clima: evaporación y precipitación, entre otros, predice el problema de salinidad, bajo el manejo actual del riego, y sus efectos.

El modelo LEACHM está constituido por una sucesión de modelos (rutinas) de manera que los errores pasan de una rutina a otra y así sucesivamente. Este modelo no representa adecuadamente las condiciones de saturación; los valores de potencial entre 0 y -0,02 kPa no se consideran, debido a que se producen errores de cálculo; de modo que en perfiles saturados cuando el potencial es cero se utiliza el valor de -0,02 kPa.

Al ser un modelo unidimensional no tiene en cuenta las influencias laterales que pueden afectar los resultados. Además, el modelo no se puede utilizar para simular el crecimiento del cultivo y su producción, ni para la respuesta de las plantas al suelo o condiciones climáticas. Las plantas se representan en el modelo únicamente para estimar la transpiración y la dinámica de los nutrientes.

Los modelos determinísticos disponibles se han usado en la investigación, retrasando su utilización en la gestión agrícola hasta que sean probados y

verificados bajo condiciones de campo. La disponibilidad de computadores personales y el reconocimiento de la complejidad de los sistemas agua-suelo-planta han acelerado la demanda de los modelos predictivos, por parte de los profesionales de la comunidad agrícola.

El objetivo del presente trabajo es validar el modelo LEACHM como herramienta para predecir las condiciones de salinidad del suelo bajo un determinado manejo

MATERIALES Y MÉTODOS

El Área Experimental se ubicó en la Hacienda El Caujaral, en las coordenadas 09° 56'55" latitud norte y 69° 37'00" longitud oeste. Esta parcela fue seleccionada por la representativa de la Serie Quibor, la facilidad de acceso y a la cercanía de la fuente de agua.

Con la finalidad de aclarar posibles dudas, en cuanto a la presentarse en una inclusión, se realizó la descripción de una calicata, la cual concluyó que el perfil se corresponde con la serie Quibor, presentando una discontinuidad litológica a los 61 cm., con un drenaje lento, interno y externo; además concluyó que el laboreo de este suelo, debe ser moderado, para tratar de mantener la estabilidad estructural de los horizontes superiores, siendo importante la adición de materia orgánica y de cobertura que impida su calentamiento y que actúen para controlar la salinización que existe.

El agua utilizada para el riego provenía de una laguna de almacenamiento, la cual es alimentada por agua de pozo, además de agua rebombada de lagunas sedimentadoras y del agua de lluvia caída en el área. El análisis de laboratorio, del agua del pozo y de la laguna, la clasificó como, C3-S1, agua de alto riesgo de salinidad y bajo contenido de sodio, según criterio del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA); con valores de pH de 7,13 y 7,58; conductividad eléctrica 0,85 y 0,84 dS/m respectivamente. Posteriores análisis de agua realizados durante el tiempo de la investigación, corroboraron que la clasificación del agua se mantiene como C3-S1.

Con la finalidad de conocer el estado inicial del suelo en lo referente a salinidad, al inicio de la investigación se recolectaron muestras compuestas, en dos rangos de profundidades 0-15 cm. y 15 - 30 cm., tomadas en forma aleatoria. La interpretación fue la siguiente:

Estrato 0 - 15 cm: textura medianamente fina (franco-arcillo-limosa); pH ligeramente alcalino; conductividad eléctrica salina; materia orgánica baja; fósforo disponible muy alto; potasio disponible alto; calcio y magnesio disponible muy alto. Al efectuar el análisis de salinidad se obtuvo que el porcentaje de saturación de la pasta es igual a 39,6 %; el pH en la pasta es ligeramente alcalino; la conductividad eléctrica en el extracto es moderadamente salina. Predominan las sales de sulfato de calcio (30,46 meq/l). La relación de adsorción de sodio (RAS) es igual a 1,3 y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es igual a 0,4. Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica USDA, el suelo se clasifica como moderadamente salino. Capacidad de intercambio catiónico (extracción con acetato de sodio) alta

Estrato 15 – 30 cm: textura medianamente fina (franco-arcillo-limosa); pH ligeramente alcalino; conductividad eléctrica salina; materia orgánica baja; fósforo disponible muy alto; potasio disponible alto; calcio y magnesio disponible muy alto. El porcentaje de saturación de la pasta es igual a 36,6 %; el pH en la pasta es ligeramente alcalino; la conductividad eléctrica en el extracto es moderadamente salina. Predominan las sales de sulfato de calcio (32,62 meq/l). La relación de adsorción de sodio (RAS) es igual a 1,34 y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es igual a 0,7. Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica USDA, el suelo se clasifica como moderadamente salino. Capacidad de intercambio catiónico (extracción con acetato de sodio) baja.

La calidad del agua de riego en cuanto a su concentración electrolítica, fue analizada para medir su aporte de sales al suelo, y se monitoreo la salinidad del agua de riego con la misma frecuencia que los análisis del suelo.

El sistema de riego fue por goteo en su modalidad de cinta Las camas al tener una geometría de 1,20 m entre surcos, requirió de la ubicación de 3 cintas espaciadas 30 cm entre ellas, las cuales sólo permiten, en esos suelos, ubicar seis (6) hileras de plantas. Las cantidades de agua aplicada, así como la cantidad de fertilizante, fue la misma en cada uno de los bancales.

OPERACIÓN Y MANEJO DEL RIEGO

La programación del riego utilizando el potencial hídrico del suelo, provee un método preciso para el mantenimiento adecuado de la humedad en el suelo,

logrando óptimos rendimientos y calidad de la cebolla, como respuesta a un manejo adecuado de esta humedad, de los umbrales de riego y de las condiciones de salinidad.

El uso de medidas de tensión de agua en el suelo para el control de riego tiene como ventaja principal la posibilidad de extrapolar los resultados a suelos semejantes, con pocas modificaciones metodológicas. Esto es posible hacerlo debido a que el consumo de agua por la planta es realizado en respuesta a las diferencias de potenciales que producen, en cierta forma, un efecto semejante en la planta, independientemente del lugar considerado.

Es importante destacar que las condiciones de suelo encontradas en el Valle de Quibor, son favorables para la utilización de tensiómetros como instrumentos básicos de monitoreo del potencial hídrico del suelo y del agua disponible para la planta, por lo cual se utilizaron no solamente para definir el momento sino también para definir las cantidades de agua de riego a aplicar al cultivo.

Las lecturas diarias de los tensiómetros permitieron calcular la cantidad de agua necesaria para reponer el déficit hídrico y el tiempo de riego para una frecuencia diaria; las láminas brutas fueron determinadas a partir de la optimización del modelo de Genutchen M.T. van (1980), utilizando una gama de valores de tensiones esperadas, antes del riego y a lo largo del ciclo del cultivo.

SALINIDAD Y EQUIPOS DE MEDICIÓN EN EL CAMPO

Las sales en cantidades excesivas en el suelo impiden la absorción de agua por las plantas, cambian la absorción de nutrientes y en algunos casos posee efectos de toxicidad de alguno de los elementos, como por ejemplo el boro. Este microelemento al tener una concentración mayor de 0,75 me/l afecta considerablemente la cebolla, Grattan (1993)

Por otro lado, los altos contenidos de humedad en el suelo mantienen un bajo nivel de oxígeno, y este elemento en el suelo saturado proporciona cambios químicos y bacteriales, Sfarm (2004), es por ello que el contenido de humedad en el suelo debe ser el óptimo para no provocar afecciones por sales, ni reducir los niveles de oxígeno en la rizósfera del cultivo.

El efecto de las sales sobre las plantas se relaciona con el incremento de la energía que estas deben usar para extraer el agua (aumento de la presión osmótica), ya que en los suelos salinos se puede observar buena humedad y sin embargo las plantas se someten a marchitamiento. En tal sentido las plantas pueden ajustar su metabolismo y sobrevivir en suelos salinos pero a cambio de una reducción de su crecimiento y cosecha; por otro lado las plantas al poseer un sistema radicular mayor, su habilidad para obtener agua y nutrientes es también mayor. Navarro (2002).

La salinidad del suelo se determinó mediante la conductividad eléctrica obtenida con una sonda electromagnética y un conductímetro, los cuales incorporan la corrección por efecto de temperatura. A estos equipos se les construyó una curva de calibración con datos medidos en campo y llevados a laboratorio.

La sonda electromagnética es un equipo para medir la conductividad eléctrica, en campo, como parámetro para determinar la salinidad en los suelos. Para el uso de la sonda es necesario conocer que las medidas de las concentraciones de sales dependen de la cantidad de sales y del contenido de humedad del suelo; por esto se necesita que las mediciones de salinidad sean hechas a un mismo contenido de humedad. La distancia entre los electrodos es de 25 mm, y las medidas deben hacerse dentro de un intervalo de 15 cm. que facilita la medición de cada capa del suelo.

DINÁMICA DE SALES

La influencia del agua de riego en la composición de la solución del suelo y su concentración puede dividirse en dos fases, la de tránsito y la fase de equilibrio. La fase de tránsito es aquella en donde la concentración hídrica del suelo es cambiante y las reacciones ocurren más rápido que en la etapa de equilibrio.

Oster citado por Mmolawa (2000), reportó que el uso del agua de poca calidad requiere de unos ajustes en la práctica de riego convencional, tales como, la selección de cultivos tolerantes a las sales, mejoramiento en el manejo hídrico y en algunos casos, la adaptación de tecnologías avanzadas de riego.

En el proceso de infiltración, los contenidos hídricos del suelo cambian en el tiempo y en el espacio. Estos cambios afectan las concentraciones y la composición de la solución de suelo, así como también influye en la

subsiguiente distribución de los solutos en el perfil. Las variaciones en la movilidad y en la reacción de los solutos dan como resultado una distribución diferente de éstos. Tal es así que los nitratos son transportados principalmente por la convección de la fuente de agua mientras que los menos móviles, como los fosfatos, son transportados por la difusión, con las consiguientes distribuciones en el suelo, las que serán diferentes.

La dinámica de sales en el suelo se evaluó mediante la conductividad eléctrica, medida por periodos continuos, con los aparatos mencionados anteriormente. Estas evaluaciones se realizaron en varias etapas del ciclo de cultivo con las siguientes mediciones:

- ✓ Dinámica de sales en las etapas de crecimiento, desarrollo y maduración.
- ✓ Evaluación temporal y espacial de la salinidad.
- ✓ Medición de la salinidad en el bulbo húmedo

Dinámica de sales en las etapas de crecimiento, desarrollo y maduración

Para determinar la salinidad en las distintas etapas del cultivo se establecieron evaluaciones periódicas, a dos profundidades de muestreo 0-15 cm y 15-30 cm. Estas evaluaciones se realizaron antes del fertirriego y/o del riego; evaluándose el movimiento de las sales de manera continua en una sección transversal del bancal de siembra, de manera de poder establecer la influencia de los fertilizantes sobre los valores de conductividad eléctrica y su efecto sobre el cultivo.

También se hicieron determinaciones en varios puntos de la cama central de los tratamientos; las profundidades muestreadas fueron de 0-5 cm, 5-10 cm y 10-15 cm, las cuales fueron analizadas en el laboratorio en solución 1:2. Se tomaron seis muestras por cama con la finalidad de tener un promedio del valor de CEs. Con la finalidad de observar el comportamiento de la sonda electromagnética y poder extrapolar sus datos a extracto de pasta saturada, mediante las ecuaciones de calibración, se tomaron muestras y se analizaron en el laboratorio. Las evaluaciones fueron hechas a los 55, 64, 72, 75, 82, 108 y 121 días después del transplante.

Evaluación temporal y espacial de la salinidad

La evaluación se repitió consecutivamente cada quince días en varios puntos de la parcela, en forma de cuadrículas, para representar la conductividad eléctrica mediante isolíneas de salinidad; usando el Software Surfer 8 se pudo observar y graficar la distribución del movimiento de las sales en la parcela y en el tiempo.

Medición de la salinidad en el bulbo húmedo

Una vez que la etapa del cultivo se encontraba en la fase de maduración se abrieron dos calicatas, un perfil longitudinal y otro transversal en dos sitios de la parcela experimental. En esos lugares se observó el perfil de humedecimiento y se construyó una malla de 10 x 10 cm, con la finalidad de tomar muestras de suelo que permitieran determinar la conductividad eléctrica en solución 1:2. Estos valores se representaron en isolíneas de CE que permitan observar su distribución en el perfil del suelo. Dichas mediciones de salinidad se realizaron con el conductímetro, una vez calibrado.

La calibración del modelo LEACHM fue realizada en los suelos de la serie Quibor, para ello se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: conductividad eléctrica en extracto de saturación, relación de absorción de sodio y concentración de iones presentes en la profundidad de 0 a 30 cm, ya que en esa zona se desarrollan la mayor cantidad de raíces.

Se tomó en cuenta las fechas de inicio de la simulación y las fechas de salida como las correspondientes a los muestreos. Los límites de los perfiles se fijaron de acuerdo a los datos suministrados por la calicata de la serie Quibor; en los segmentos se consideraron los siguientes aspectos: el modelo de flujo es el de Richards, el número de curva (CN) y la pendiente se basó en las condiciones observadas en el campo, el modelo de retención es el de Campbell y la dispersividad.

Los registros del cultivo, en cuanto a distribución y crecimiento de las raíces, se fijaron en el campo de acuerdo a los perfiles de muestreo.

Los datos de riego fueron medidos durante todo el ciclo del cultivo al igual que la precipitación y la evaporación. La calidad del agua de riego fue evaluada para las fechas establecidas, determinándose las propiedades químicas del agua, las cuales se incluyen en el fichero de entrada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cultivo de cebolla se desarrolló entre los meses de abril y agosto de 2004, durante este período la evaporación, medida a través de la Tina “Tipo A”, fue mayor que la precipitación. La Figura 1 representa los valores registrados.

El riego fue aplicado diariamente, determinándose su reposición a través de tensiómetros. La lámina bruta promedio, por riego, aplicada durante el ciclo del cultivo fue 4,74 mm, durante 122 días y a partir del transplante, como se observa en la Figura 2.

El volumen total de agua aplicado fue 4.627,14 m³, equivalentes a 6.610,20 m³/ha, considerando que el área de ensayo era de 0,7 ha; el caudal promedio por riego fue de 56,20 m³/h, Figura 3.

Los tiempos de riego calculados para aplicar la lámina bruta diaria, fueron en promedio 35 minutos. Es importante destacar que este tiempo representa el valor promedio de las aplicaciones realizadas para satisfacer los requerimientos del cultivo. Durante este trabajo se registró importantes aportes por precipitación. Además el tiempo de riego calculado es particular para este tipo suelo y el equipo utilizado, por lo tanto no puede extrapolarse para otras condiciones.

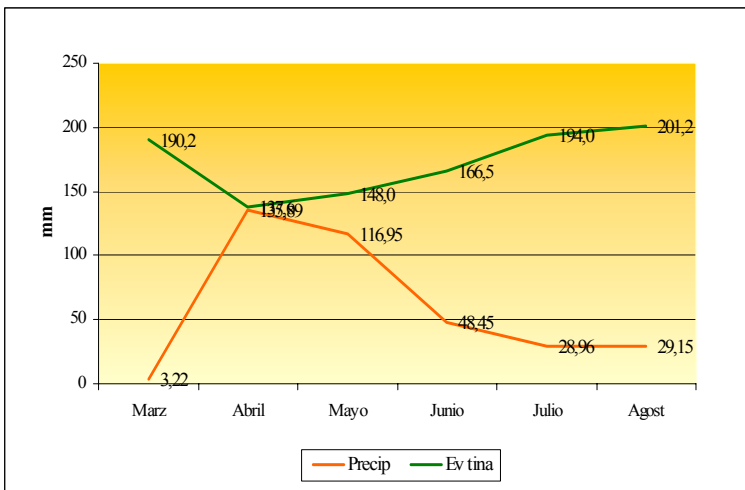


Figura.1. Precipitación y Evaporación Mensual, en mm, Durante el Ciclo del Cultivo.

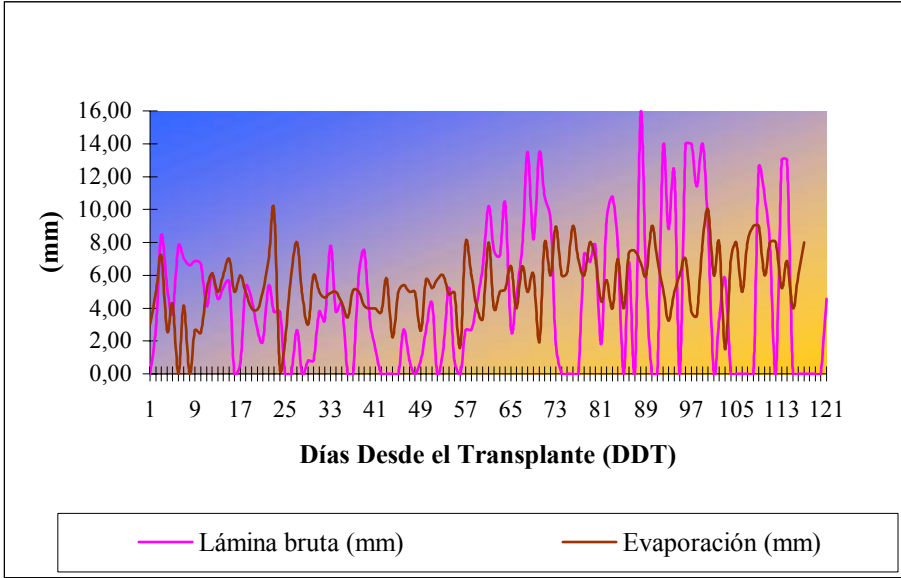


Figura 2. Lámina Bruta Aplicada Diariamente y Evaporación de la Tina.

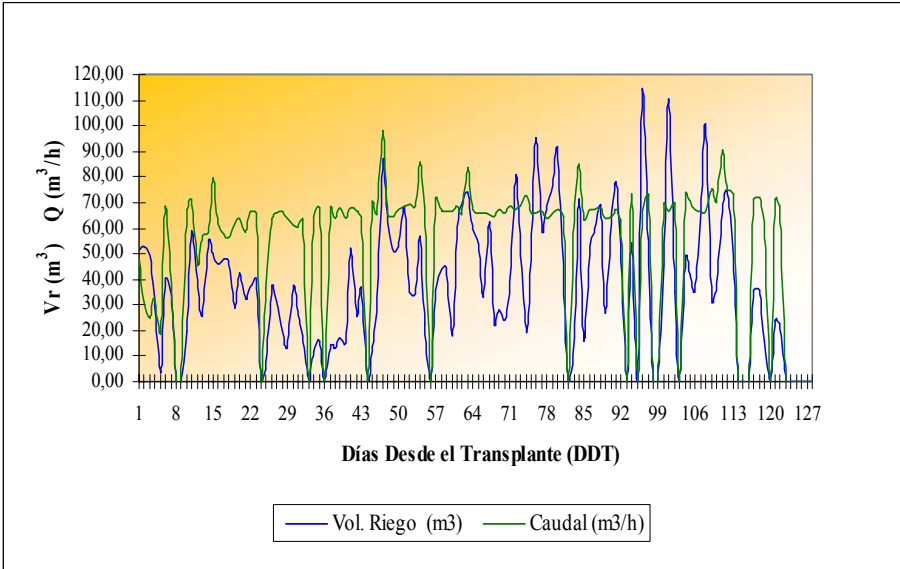


Figura.3. Volúmenes y Caudales Aplicados Diariamente con el Riego Localizado.

La estrategia para iniciar el riego varió dependiendo de la etapa de desarrollo del cultivo, es así que en la fase de establecimiento se consideró que el suelo tuviera un contenido de humedad próximo a capacidad de campo, por lo que el potencial mátrico promedio adoptado fue de -10 kPa. Durante la siguiente etapa de crecimiento, se adoptó la estrategia de regar cuando el potencial mátrico estuviera entre -12 y -20 kPa y en la etapa de bulbificación cuando el potencial sea aproximadamente -25 kPa.

El sistema de riego localizado se manejó de manera que la fertilización y el riego se realizaran conjuntamente, donde los factores de producción, agua y fertilizantes fueron equilibrados y manejados adecuadamente para obtener la máxima eficiencia.

En el Valle de Quibor predominan los sulfatos de calcio (CaSO_4), los cuales son sales poco solubles y precipitan a pH menores de 8,5; al determinar las propiedades químicas del suelo a la profundidad de 0-15 cm se pudo apreciar que el pH se mantuvo constante durante todo el ciclo del cultivo, con un valor promedio de 7,4; ligeramente alcalino, característico de los suelos salinos.

Al inicio del cultivo, la conductividad eléctrica tuvo un valor de 6,5 dS/m, indicando que el suelo se encontraba en un nivel de salinidad de moderado a alto. Una vez establecido el programa de riego, los valores de CE comenzaron a disminuir, manteniéndose en un promedio de 3,5 dS/m, y después cuando se redujo la humedad en el suelo, por manejo del cultivo, la salinidad se incremento a 4 dS/m.

La toxicidad del sodio fue evaluada a través del RAS; el valor promedio obtenido fue de 0,97, no registrándose mayores fluctuaciones. La capacidad de intercambio catiónico al inicio del trabajo fue mayor de 20 meq/l, considerado un valor alto, lo que significa la alta interacción del suelo con la solución del suelo. A medida que transcurrió el ciclo del cultivo, el valor de la CIC fue disminuyendo, posiblemente por la absorción de las plantas o por el lavado de las lluvias. Los resultados mencionados pueden observarse en la Figura 4.

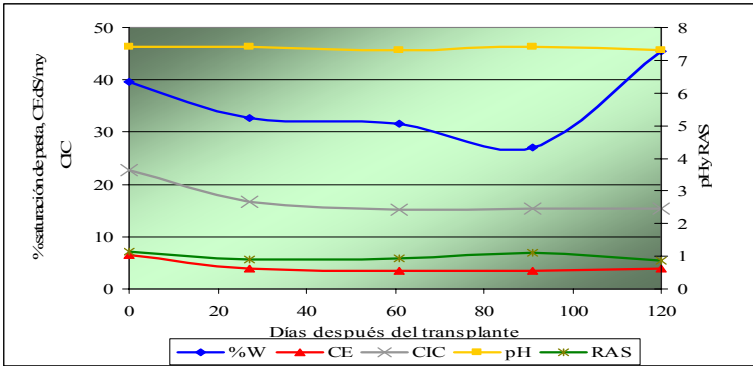
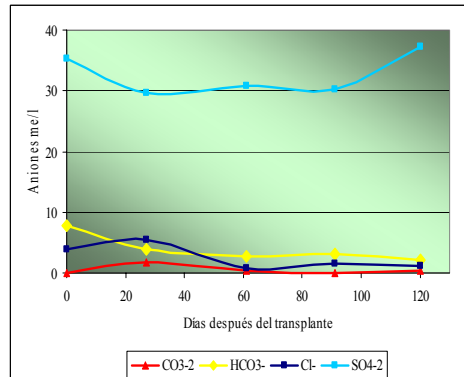
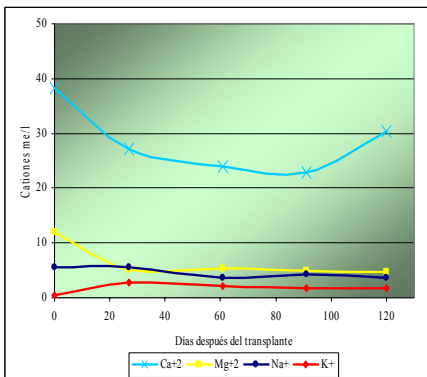


Figura 4. Propiedades Químicas del Suelo, Determinadas en Extracto de Pasta Saturada en Muestra Compuesta.

Las concentraciones de los cationes y aniones, obtenidos de los análisis de suelo, en el tiempo del estudio se presentan en la Figura 5. En esta se observa que los iones calcio y sulfato tienden a reducir su concentración a medida que aumentan los días después del trasplante. Sin embargo, al final del ciclo existe un incremento de estos iones, esto se debe posiblemente a que en esos días se había reducido la cantidad de agua de riego, incrementándose la concentración de los iones presentes en el suelo. Los otros iones mantuvieron un comportamiento similar durante todo el ciclo, solamente el potasio tuvo un incremento entre los 20 a 60 días después del trasplante, posiblemente debido a la aplicación de la fertilización.



Figuras 5. Comportamiento de los Cationes y Aniones a Profundidad de 0-15 cm en el ciclo del Cultivo.

La distribución espacial de las sales, a pocos días de iniciarse el cultivo y al final del mismo, 28 DDT y 121 DDT, es decir a medida que se aplicaba el riego al suelo, se muestra en la Figura 6. Considerando los eventos de lluvia que se presentaron durante el ciclo del cultivo, se puede notar que el movimiento de las sales es hacia los estratos más profundos, con una distribución homogénea en toda el área de la parcela. Los lugares donde se encontró mayores valores de salinidad coinciden con una condición de mal drenaje interno del suelo o con una deficiente nivelación del terreno.

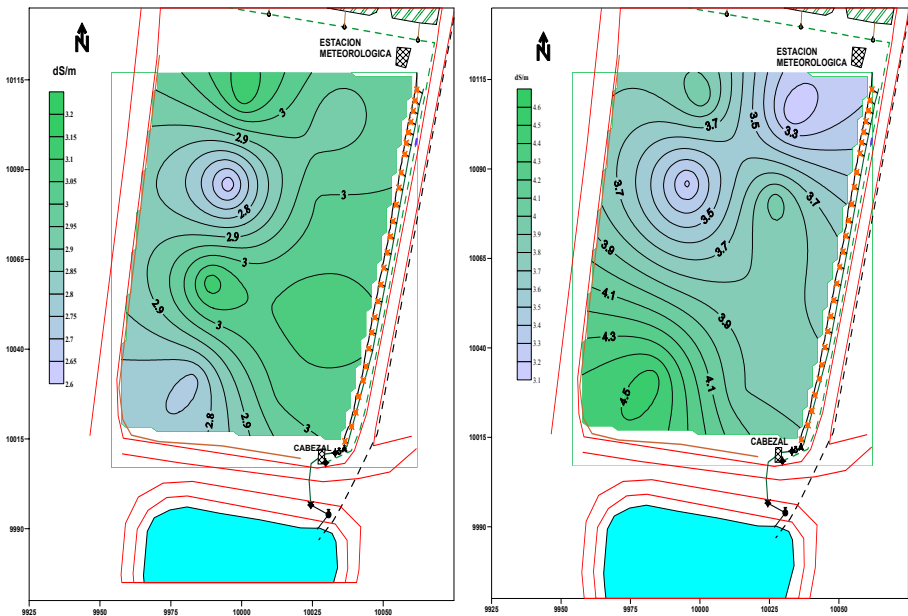


Figura 6. Distribución Espacial de la Salinidad (dS m^{-1}) a una Profundidad de 0-15 cm, a 28 DDT y a 121 DDT.

El agua de riego presenta un pH ligeramente alcalino, con una conductividad eléctrica alta considerándose salina, la relación de absorción de sodio RAS no superó el valor de 0,27dS/m; en conclusión el agua según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) se clasifica como C_3S_1 : siendo un agua altamente salina que puede ser usada en suelos con buen drenaje. Según estos análisis, el agua puede usarse en riego ya que posee poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Los máximos valores de

iones encontrados en los análisis del agua se alcanzaron en el último muestreo, como se observa en la Figura 7. De igual manera los iones como el calcio, sulfato, bicarbonatos y cloro se incrementaron; para esta etapa los cultivos eran más resistentes a la salinidad y a la toxicidad de estos iones.

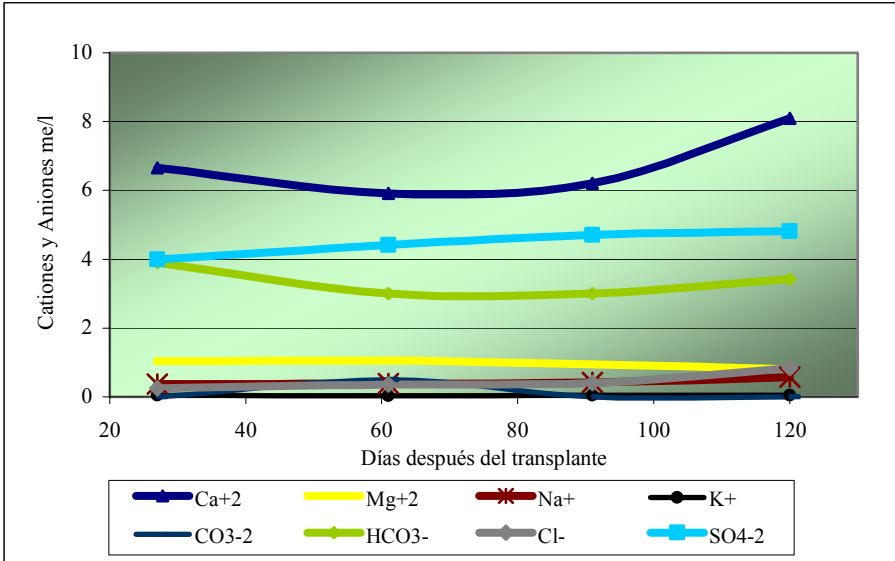


Figura 7. Comportamiento de los Iones en el Agua de Riego en las Distintas Etapas del Cultivo.

La Figura 8, representa los valores de conductividad eléctrica, dS/m, obtenidos con el modelo LEACHM en las distintas semanas del cultivo, los cuales pueden compararse con la Figura 9, que son los valores medidos en campo. De esta comparación se deduce, que existe una buena correlación entre los valores medidos y los simulados.

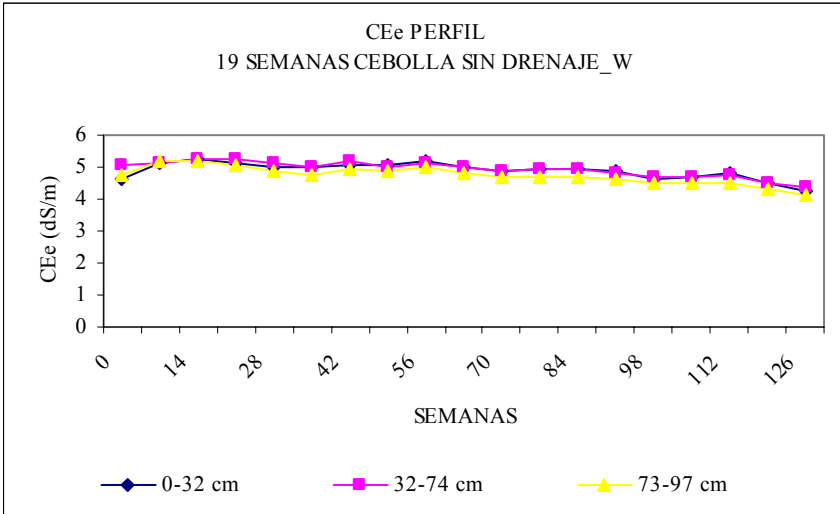


Figura 8. Conductividad Eléctrica, Estimada por el Modelo LEACHM.

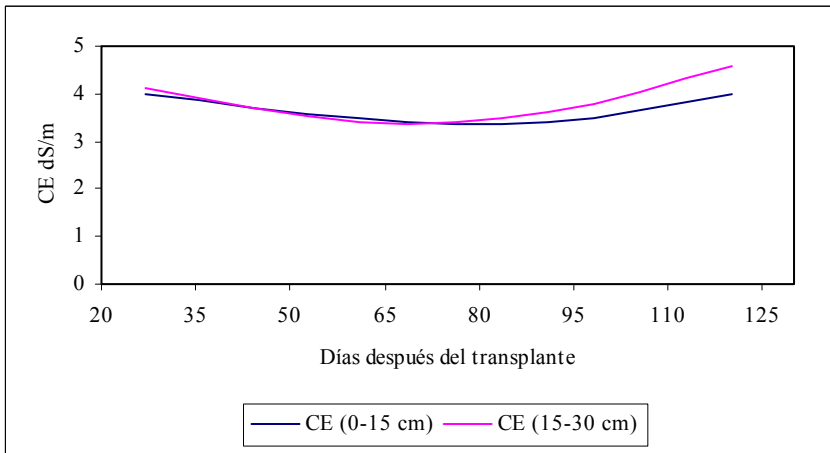


Figura 9. Conductividad Eléctrica Medida en Campo.

Los valores de RAS estimados por el modelo, se muestran en la Figura 10, en ella se observa que en el estrato de 0-32 cm y 73-97 cm, no superan la unidad, en el estrato de 32 a 74 cm, se incrementa un poco el valor del RAS. En la Figura 11 se presentan los valores medidos en campo.

Otras estimaciones realizada por el modelo fueron: el balance de humedad en el suelo, potencial hídrico, potencial matricial y flujo del agua en el perfil. En cuanto a la lámina acumulada correspondientes a lluvias y riego estimada fue de 800 mm, la cual comparada con los valores medidos de 768,1 mm, son muy parecidos. Los valores de tensiometría medidos se mantuvieron en 10 kPa (capacidad de campo), con pequeñas variaciones al final del ciclo de evaluación, este mismo comportamiento se mostró en los datos estimados. Todo esto se puede observar en la Figura 12.

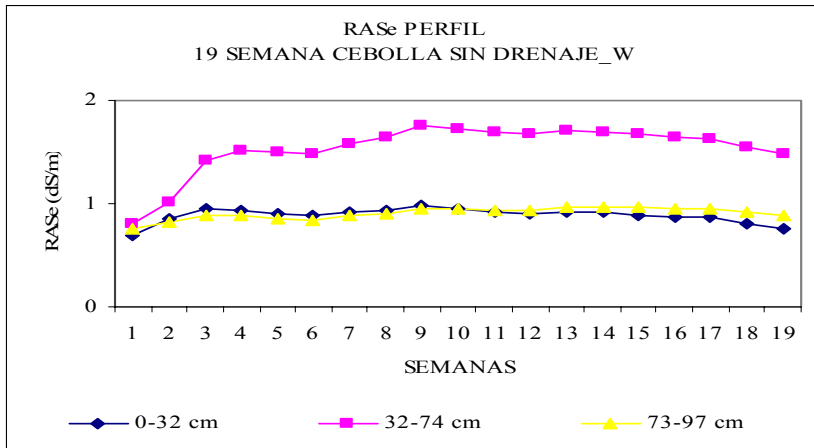


Figura 10. Comportamiento del RAS Estimado por Modelo LEACHM.

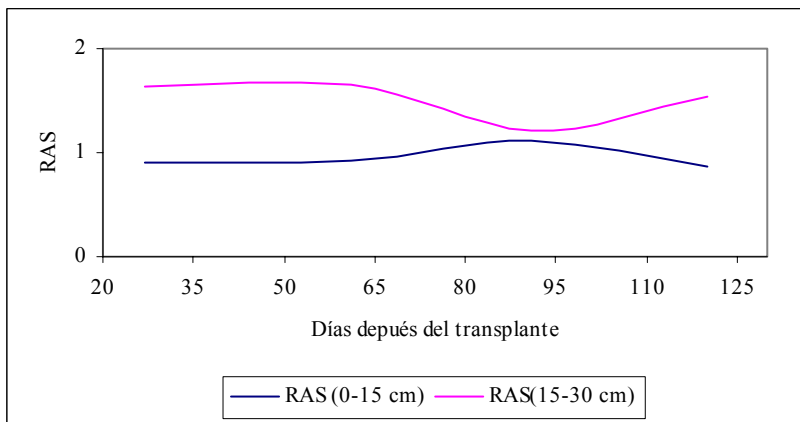


Figura 11. Comportamiento del RAS Determinado en el Muestreo del Suelo.

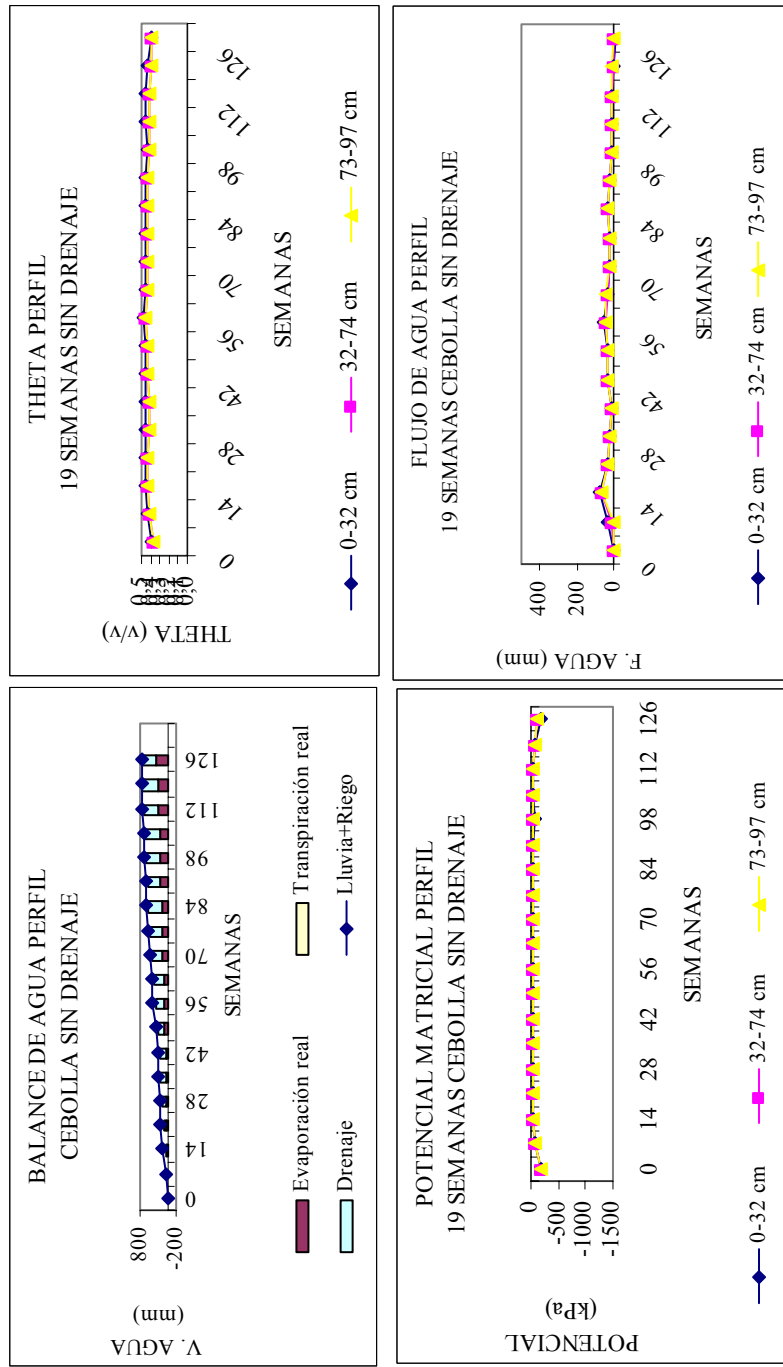


Figura 12. Estimaciones de Potencial Hídrico del Suelo.

CONCLUSIONES

La salinidad inicial en el suelo de la Serie Quibor, del Valle de Quibor, tuvo un valor de 6,5 dS/m; posteriormente disminuyó con la planificación y manejo del riego, manteniéndose en un valor promedio de 3,5 dS/m, hasta el final del ciclo del cultivo cuando aumentó a 4 dS/m, coincidiendo con el corte de agua programado por práctica agronómica. Las sales se desplazaron hacia los drenajes superficiales y a los estratos más profundos, según el alcance de la humedad.

El riego de alta frecuencia, intervalo de 1 día, con agua de mediana calidad y lluvias frecuentes mantuvieron la salinidad del suelo constante durante el ciclo del cultivo.

Se ha encontrado que en la zona de desarrollo radicular, las condiciones de salinidad se mantienen por debajo de los niveles críticos para el crecimiento de la cebolla, debido al método de riego utilizado que favorece la formación de un bulbo húmedo con desplazamiento de las sales hacia las periferias de los bancales de siembra.

Las sales continúan existiendo y acumulándose en el perfil, lo que conlleva a una salinización oculta sino se maneja adecuadamente el riego, proceso en el que la utilización del modelo LEACHM es de gran utilidad para predecir las áreas de acumulación de sales y para adecuar las prácticas de manejo más adecuadas para el suelo.

El modelo LEACHM predice en forma adecuada las condiciones de salinidad del suelo, bajo determinadas condiciones de manejo.

No se encontró una buena correlación de algunos de los cationes simulados con el modelo LEACHM, con respecto a los valores medidos en campo.

Los datos de entrada necesarios para el modelo LEACHM, como las concentraciones de los iones, contenido de humedad en el suelo, presión parcial de CO₂, conjuntamente con la cantidad de fertilizantes y volúmenes de agua aplicados, evaporación y precipitación, deben ser bastante precisos para predecir el problema de salinidad bajo un determinado manejo del riego.

Se hace necesario seguir realizando experiencias, para validar su funcionamiento en nuestras condiciones

BIBLIOGRAFÍA

1. Ayers, R. S. y Wescot, D. W. 1985. **Water Quality for Agriculture**. FAO. Irrigation and Drainage. Paper 29. Rev. I. Rome.
2. Genutchen, M. T. van. 1980. **A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.44, p. 892-898.
3. Grattan S. R. 1993. **Water Quality Guidelines for Vegetable and Row Crops**. In Drought tips N° 92-17
4. Hurtado S. D.; Batlle Sales D. J. 2003. **Uso del Modelo LECHM para la Evaluación del Riesgo de Salinización en Suelo Bajo Riego**. Universidad de Valencia. Facultad de Ciencias Biológicas. España.
5. Hutson J. L. y Wagemant, R. J., 1992. **LEACHM: Leachinhg Estimation and Chemistry Model: A process based modelo f water and solute movement transformations, plant uptake and chemical reactions in the satured zone**. Version 3. Research Series N° 92-3. Dept. of soil, crop and Atmospheric Sciences, Cornell University. Ithaca. New Cork.
6. Mmolawa K. y Or D. 2000. **Root Zone Solute Dynamics Under Drip irrigation**. Biol. and Irrig., Eng. Dept., Utah State Univ. Logan, UT. 163-190
7. Mmolawa K. y Or D. 2000. **Water and Solute Dynamics Under Drip Irrigated Fields**. Dissertation. Biol. and Irrig., Eng. Dept., Utah State Univ. Logan, UT. 211 p.
8. Navarro G, M. 2002. **Nutrición Vegetal Balanceada y Riego por Goteo en Cultivos Hortícolas**. México
9. Porta, J.; López Acevedo, M. y Roquero, C. 1999. **Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente**. 2da edición. Mundi Prensa. Madrid.
10. Slfarm. 2004. **Guía Salinidad de Suelos y Aguas**. <http://www.slhfarm.com/salinidad.html>.