

## **EVOLUCION DE LA SALINIDAD EN UN SUELO DEL VALLE DE QUIBOR, VENEZUELA, UTILIZANDO RIEGO LOCALIZADO EN EL CULTIVO DE CEBOLLA**

### **Evolution of salinity in a soil of Valley of Quibor, Venezuela, under drip irrigation in the onion crop**

Rázuri Ramirez, Luis<sup>1</sup>; Linares D., José Grismaldo<sup>1</sup>; Romero C., Edgar<sup>2</sup>; Galindo Rodríguez, Alberto<sup>1</sup>; Hernández<sup>1</sup>. José D.

<sup>1</sup>CIDIAT-ULA Apartado 219, Mérida, IIAP-ULA, Mérida, <sup>2</sup>  
razuri@ula.ve - edroca@ula.ve

#### **Resumen**

El presente trabajo se encuentra enmarcado en el Contrato No 297-2003, propiedad del Sistema Hidráulico Yacambú-Quibor (SHYQ-C.A.) contratado al CIDIAT-ULA. La presente investigación se realizó en Valle de Quibor, municipio Jiménez del estado Lara-Venezuela, el área en estudio presenta un clima semiárido, donde la precipitación anual no supera los 500 mm y la evaporación es de alrededor de 3000 mm. El suelo, 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 agua de riego se clasifica, según el Laboratorio de Salinidad de Riverside, en C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, considerada como salina, sin presentar posibles problemas de sodio.

El cultivo de cebolla *Allium cepa* L. se estableció en la finca “El Caujaral” regada bajo riego por goteo. Durante el ciclo vegetativo se realizaron evaluaciones de salinidad sobre las 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. Situación similar se plantea con la fertirrigación, ya que esta tuvo poca influencia sobre los niveles de salinidad.

Se demostró que el uso de agua de baja calidad, pueden ser utilizada en riego localizado, además se comprobó que el riego por goteo para cultivos de alta densidad es una alternativa valedera en el Valle de Quibor, esto depende de la destreza en la operación y manejo del sistema para el suelo y cultivo deseado.

**Palabras clave:** salinidad, evolución, cebolla, riego localizado, Valle de Quibor.

### Abstract

The present study is according to the conditions of contract no 297-2003, property of the Hydraulic System Yacambú-Quibor (SHYQ-C.A), contracted to the CIDIAT-ULA. The present study was conducted in Quibor valley, Jiménez municipality, in Lara State, Venezuela. The area in study possesses a semi-arid climate, where the annual precipitation doesn't exceed 500 mm and evaporation is around 3000 mm. The soil, belonging to the Quibor soil series, and that represents 40% of the valley along with the Chaimare series, is classified as a fine, clayey isohyperthermic Typic Haplocambids, with a conductivity of 6.5 dS/m, with the dominant presence of calcium sulfate salts. The irrigation water is classified, according to the Salinity Laboratory of Riverside, as  $C_3S_1$ , considered as saline, without presenting possible sodium problems.

The onion crop of *Allium* strain L. was established in the farm "El Caujaral", and watered using drip irrigation. During the vegetative cycle various salinity evaluations were undertaken upon the plant beds, using measuring equipment in the field, and soil and drip-water samples for laboratory analysis.

The evolution of the salt dynamic was measured in continuous periods, in the distinct fenological phases of the crop, and showed that maintaining the humidity close to the field capacity minimizes the CE in the crop root zone. A similar situation was suggested with fertirrigation, since this had little influence upon the levels of salinity.

It was demonstrated that the use of low quality water can be used in localized irrigation, and also drip irrigation for high density crops as a valid alternative in Quibor valley was examined. This would depend upon the skill of operating and managing such a system for the desired soil and crop.

Key words: Salinity, evolution, onion, localized irrigation, Quibor Valley

## Introducción

Los suelos están compuestos en su estructura por elementos físicos, químicos y biológicos, los cuales por la acción del clima son meteorizados, transportados y depositados por el agua de lluvia en zonas con características de relieve plano, poca precipitación y alta demanda evaporativa. Estas condiciones facilitan la formación de suelos salinos. Los elementos meteorizados que intervienen en esta conformación son Ca, Mg, Na, K, Cl, S y C y en menor frecuencia N, B e I, Pizarro (1990). La salinización del suelo depende principalmente del material de origen; ya que existe, según Ferman citado por Pizarro (1990), una secuencia de extracción de iones de sus rocas y minerales, así como, una velocidad para que dichos iones sean transportados y con capacidad para acumularse en las depresiones en forma de sales que depende del coeficiente de energía de dichos iones.

De esta manera los cloruros, nitratos, sulfatos y carbonatos son las sales que se forman con más facilidad, como consecuencia de la meteorización, ocurriendo lo contrario en el proceso de precipitación de sales donde por ejemplo el cloruro de sodio (NaCl) permanece más tiempo en la solución del suelo.

Las sales que permanecen por más tiempo en la solución del suelo son las que afectan el buen desarrollo de las plantas, esto se debe a que las raíces poseen una membrana semipermeable la cual permite la entrada del agua y soluciones nutritivas por difusión, al existir una presión osmótica mayor, las plantas emplean su energía para absorber el agua aprovechable viéndose afectado el desarrollo y crecimiento de los cultivos.

Bajo estas condiciones se requiere de un suministro de agua en las regiones semi-áridas de manera adecuada para satisfacer las necesidades hídricas y manejar eficientemente los problemas de salinidad de los suelos. El agua puede ser entregada de distintas formas, que depende fundamentalmente del clima, del cultivo y del suelo. En el Valle de Quibor predomina el riego por gravedad, y aunque en su aplicación son eficientes, consumen grandes volúmenes de agua en su aplicación por superficie comparada con el riego localizado.

En esta investigación se estableció el cultivo de la cebolla *Allium cepa L.* bajo riego localizado (cinta de goteo) en suelos salinos. Al respecto Pizarro (1975) citado por Jaramillo (2002) expone que el mejor método para el lavado de sales es fraccionando la dosis de riego en varias aplicaciones, aunado a esto se debe proveer al sistema con adecuado drenaje que reciba y exporte del lote los excedentes de lluvias y aguas.

La relación de la salinidad con los cultivos es difícil de cuantificar ya que los procesos biológicos del cultivo están relacionados con las varias etapas de desarrollo, clima y la toxicidad de distintas sales.

La influencia de la salinidad en el crecimiento y rendimiento de los cultivos es medida por su conductividad eléctrica, al respecto Pizarro (1990) cita a Ayers y Westcot que han recopilado información de varios cultivos y aplicado la ecuación de Maas y Hoffman, donde indican la disminución del rendimiento del cultivo, en particular la cebolla que es bastante sensible a valores por encima de  $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ ; al respecto Jaramillo (2002) muestra en su trabajo una tabla de tolerancia de los cultivos, donde la cebolla se ubica en moderadamente tolerable a la salinidad con valores mayores a  $6 \text{ dS m}^{-1}$ , esto se debe a la afinidad que este cultivo tiene con las micorrizas, ya que estas aparte de ayudar a la absorción, por las plantas, de nutrientes poco móviles en el suelo, le dan resistencia a condiciones desfavorables en los suelos con pH extremos, sequías, cambios grandes de temperatura, salinidad y presencia de elementos tóxicos (Fe, Al, Mn.) además de proteger las raíces de ataque de patógenos Jaramillo (2002), Burbano (1989) y Sánchez (1999).

## **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 el Productor debido a lo representativo de la Serie Quibor, la facilidad de acceso y a la cercanía de la fuente de agua.

El agua utilizada para el riego provino de una laguna de almacenamiento, la cual es alimentada por agua bombeada desde el pozo N° 17 de la hacienda, 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, realizado el 09/03/2004 por FundaAgraria, dio como resultado una clasificación 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.

El Estudio Semidetallado de Suelos a Nivel de Series del Valle de Quibor, elaborado por el SHYQ-CA (1995), ubica el área de estudio dentro de la Serie Quibor. En razón de corroborar y aclarar posibles dudas, en cuanto a 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.

### **Salinidad del suelo**

En el área de estudio, al inicio de la investigación, y con la finalidad de conocer el estado inicial del suelo en lo referente a salinidad, se recolectaron muestras compuesta, en dos rangos de profundidades 0 – 15 cm y 15 – 30 cm, tomadas en forma aleatoria con el objeto de obtener una mejor representatividad en los resultados esperados. 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.

### **Diseño experimental y tratamientos**

El manejo de la investigación en campo se hizo mediante un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo de tratamiento factorial, en el cual se consideraron los siguientes factores y niveles: Factor I: Densidad de siembra con tres (3) niveles; 430.000 plantas ha<sup>-1</sup> (0,15m x 0,10m; 6 hileras por cama); 570.000 plantas ha<sup>-1</sup> (0,15m x 0,075m; 6 hileras por cama); 860.000 plantas ha<sup>-1</sup> (0,15m x 0,05m; 6 hileras por cama). *Factor II*: Formas de aplicación del agua de riego en lo referente al tiempo de riego con *dos (2) niveles*; tiempo total de riego por día en dos partes (aplicación 2 veces al día); tiempo total de riego por día en tres partes (aplicación 3 veces al día).

Las cantidades de agua aplicada, así como la cantidad de fertilizante, fue la misma en cada uno de los tratamientos.

### **Sistema de riego**

El sistema de riego fue por goteo en su modalidad de cinta. En cada tratamiento, se conectaron a la tubería terciaria nueve líneas de cinta de goteo de 86 m cada una en promedio, para un total aproximado de 18.400 m.

La cinta de goteo utilizada fue de la marca Siberline P-1, calibre 15000, con distancia entre goteros de 33 cm, de caudal nominal de 1,4 l h<sup>-1</sup>, para una presión de 1 bar, para una ecuación de descarga  $q = 0,412 h^{0,513}$  (PSI; l h<sup>-1</sup>).

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. El colocar tres cintas por cama encarece el sistema, no obstante un menor número de líneas de goteo, con el caudal nominal mencionado, no garantizaba el patrón de humedecimiento requerido.

### **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 las cantidades de agua de riego a aplicar al cultivo.

### **Riego del cultivo**

Las labores de riego se iniciaron el 14 de abril de 2004 de acuerdo a la estrategia de operación y manejo adoptado para el presente trabajo de investigación, la cual se basa en el conocimiento, en tiempo real, de las variaciones de tensión de agua en el suelo, medida a través de tensiómetros.

Se prestó particular atención a las características propias del suelo (textura pesada y condición salina), debido a la formación de grietas y costras, como resultado de la contracción y expansión de las arcillas.

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 Van Genuchten (1980), utilizando una gama de valores de tensiones esperadas, antes del riego y a lo largo del ciclo del cultivo.

Durante las primeras cuatro semanas del cultivo y con la finalidad de asegurar la adaptación de éste, se aplicó riego frecuente para mantener el suelo próximo a capacidad de campo, ajustándose posteriormente de acuerdo a las diferentes fases fenológicas.

### **Salinidad y equipos de medición en el campo**

La salinidad del suelo se determinó mediante la conductividad eléctrica obtenida con una sonda electromagnética y un conductivímetro, 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.

### **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.

Durante la infiltración, los contenidos hídricos del suelo cambian espacial y temporalmente. Estas fluctuaciones afectan las concentraciones y composición de la solución de suelo, así como también influye en las subsecuentes distribuciones de los solutos en el perfil. Algunos

solutos reaccionan con la matriz del suelo a manera de que ellos viajan a través del mismo, resultando en disolución y precipitación fuera y dentro de la solución hídrica del suelo. Las variaciones en movilidad y reacciones de los solutos resultan en una distribución diferente de éstos. Por ejemplo, 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 y así sus subsecuentes distribuciones en el suelo serán diferentes.

Para observar el dinamismo que ocurre en el suelo se evaluó por periodos continuos la conductividad eléctrica, medida con los aparatos mencionados anteriormente. Estos seguimientos se hicieron en varias etapas del cultivo con las siguientes actividades.

- ✓ Evaluación de la salinidad antes y después del riego sobre una cama de siembra.
- ✓ Evaluación periódica para observar la dinámica de las sales en las etapas de crecimiento, desarrollo y maduración.
- ✓ Determinación de la salinidad del suelo por tratamientos.
- ✓ Evaluación temporal y espacial de la salinidad.

#### *Evaluación de la salinidad antes y después del riego sobre una cama de siembra*

En la fecha del 25 al 26 julio, se realizaron las evaluaciones para observar el comportamiento de la salinidad en el perfil del suelo en un lapso de 24 horas. Se determinó la CE a una profundidad de 40 cm dos horas antes y dos horas después del riego. A las 24 horas de haberse aplicado el riego se repitió la medición. De igual manera y a la misma profundidad se determinó el contenido de humedad gravimétrico con el fin de realizar las isolíneas de humedad en el suelo para su evaluación y mostrar la relación que tiene con respecto a la salinidad.

#### *Evaluación periódica para observar la dinámica de las sales en las etapas de crecimiento, desarrollo y maduración*

Con el objeto de 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. De esta manera se evaluó el movimiento de las sales de manera continua en una sección transversal de la cama de siembra, como se muestra en la Figura 1, y así poder establecer la influencia de los fertilizantes sobre los valores de conductividad eléctrica y su efecto sobre el cultivo.

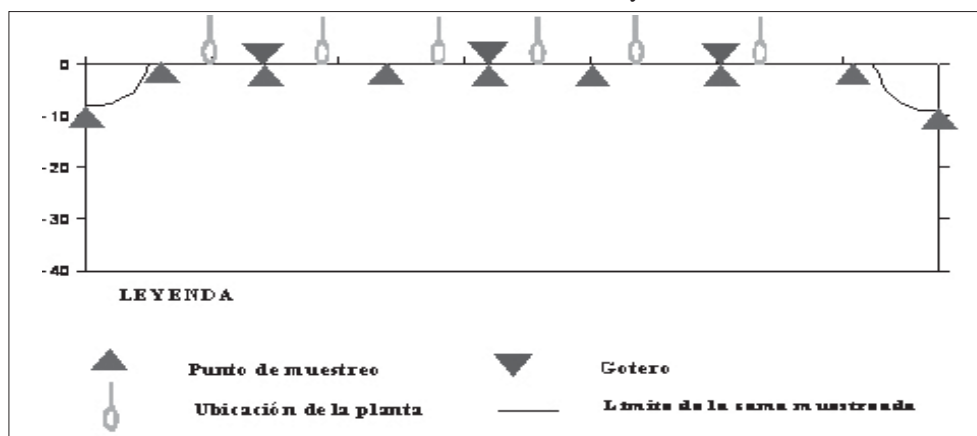


Figura 1. Diagrama de muestreo sobre la cama de siembra

---

### ***Determinación de la salinidad del suelo por tratamientos***

La conductividad eléctrica en las distintas etapas del cultivo se determinó 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 inició el 12 de mayo, repitiéndose 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 conducti-vímetro, una vez calibrado.

## ***Resultados y Discusiones***

### **Condiciones climáticas**

El cultivo de cebolla se desarrolló entre los meses de abril y agosto de 2004, durante este período la evaporación fue mayor que la precipitación. En el primer mes la relación precipitación/evaporación fue de 0,988, bajando en los meses posteriores, hasta llegar a 0,145 en el mes de agosto.

### **Láminas y volúmenes de riego**

La aplicación del riego fue diaria, determinándose su reposición de acuerdo al status de humedad en el suelo obtenida a través de tensiómetros. La lámina bruta promedio, por riego, aplicada durante el ciclo del cultivo fue 4,74 mm, las que fueron entregadas entre el 15 de abril y el 14 de agosto de 2004, fecha en la que se concluyó las aplicaciones a los 122 días desde el transplante.

El volumen de agua aplicado, medido con un contador marca Woltmann, fue 4.627,14 m<sup>3</sup>, equivalentes a 6.61 m<sup>3</sup>/ha considerando que el área de ensayo era de 0,7 ha; el caudal promedio por riego fue de 56,20 m<sup>3</sup>/h.

### **Tiempos de riego**

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.

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.

### Fertirrigación

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

### Caracterización de la salinidad en el suelo

El predominio del tipo de sales que existen en el suelo de el Valle de Quibor son los sulfatos de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), las cuales son sales poco solubles y precipitan a pH menores de 8,5; por lo tanto se consideran menos peligrosas que las de muy alta solubilidad.

Al determinar las propiedades químicas del suelo a la profundidad de 0-15 cm se pudo apreciar los siguientes resultados:

El pH se mantuvo constante durante todo el ciclo del cultivo, presentando un valor promedio de 7,4; este se considera ligeramente alcalino, característico de los suelos salinos. Por otra parte, la CE al inicio del cultivo arrojó un valor de 6,5 dS/m, indicando que el suelo se encontraba en un nivel de salinidad de moderado a alto. Establecidos los patrones de riegos los valores de CE comenzaron a disminuir, manteniéndose un promedio de 3,5 dS/m, y cuando se redujo la humedad en el suelo, la salinidad se incremento a 4 dS/m.

Otra característica evaluada fue la toxicidad del sodio, el cual se midió a través del RAS. El resultado promedio de la evaluación fue de 0,97; durante el ciclo del cultivo no se registraron mayores fluctuaciones. Al hacer una comparación entre el RAS y el valor obtenido en dicha evaluación se deduce que no existen problemas de toxicidad por el sodio. Los resultados descritos anteriormente pueden observarse en la Figura 2.

En la misma Figura se puede observar que la CIC al principio del ciclo 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. Es de acotar, que siempre hubo una mayor CIC en la profundidad de 0-15 cm que en las de 15-30 cm.

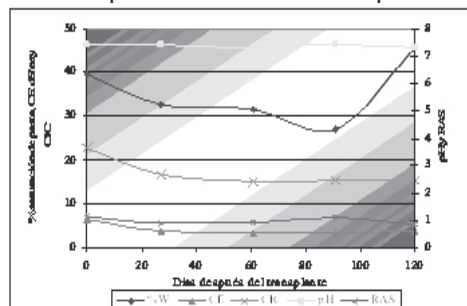


Figura 2. Propiedades químicas del suelo determinadas en extracto de pasta saturada en muestra compuesta en el área en estudio.

En los análisis de suelo se detalla las concentraciones de los iones en los diferentes estadios del cultivo, como se muestra en la Figura 3, observándose que los iones calcio y sulfato tienden a reducir su concentración a medida que se desarrolla el cultivo. Sin embargo, al final del ciclo se puede observar un incremento de estos iones, esto se debe posiblemente a que, para este período se había reducido la cantidad de agua de riego, incrementándose la concentración de los iones presentes en el suelo. Con respecto a 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 transplante, posiblemente debido a la aplicación de la fertilización.

### Dinámica de las sales

El entendimiento de la dinámica de los solutos en la zona radicular del cultivo ayuda a mejorar los programas de fertirrigación para un manejo adecuado del riego por goteo. Dicho manejo puede reducir el lavado de sales, por lo tanto optimiza la captación de nutriente por las plantas, mejorando la capacidad de controlar la aplicación de agua salina en la etapa de mayor sensibilidad de los cultivos.

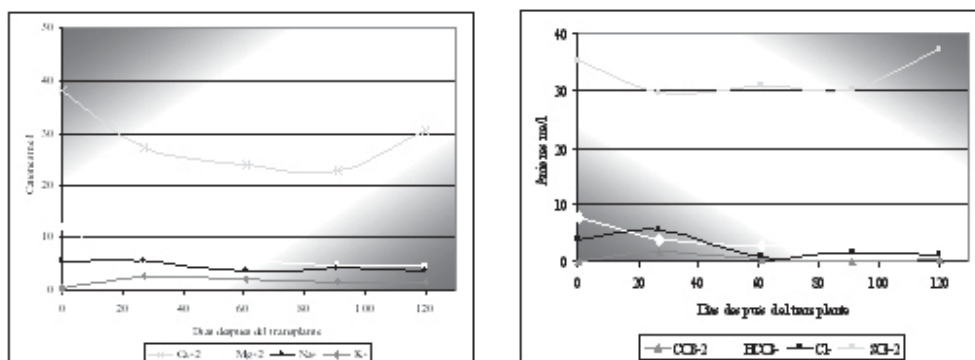


Figura 3. Comportamiento de los cationes y aniones a profundidad de 0-15 cm en las distintas etapas del cultivo.

### *Evaluación de la salinidad antes y después de la aplicación del agua en riego por goteo*

La Figura 4 (a) y (b) muestran la conductividad eléctrica medida en el perfil del suelo dos horas antes y dos horas después del riego respectivamente. En este se aprecian valores de conductividad eléctrica aproximadamente iguales a lo largo del perfil, en ambas etapas; sin embargo, cuando la evaluación se realizó a las 24 horas después del riego, con 0 mm de aplicación de lámina, la conductividad eléctrica comenzó a incrementarse, debido a los bajos niveles de humedad existentes al momento de la evaluación, aunado a la capilaridad del suelo que se presentaba en la noche; como se muestra en la misma Figura 4 (c).

EVOLUCION DE LA SALINIDAD EN UN SUELO DEL VALLE DE QUIBOR, VENEZUELA, UTILIZANDO RIEGO LOCALIZADO EN EL CULTIVO DE CEBOLLA 21-37

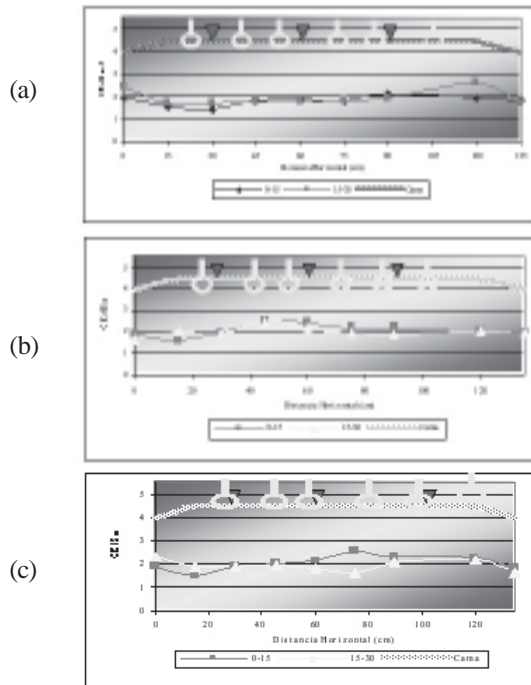


Figura 4. (a) (b) y (c) Distribución de las sales en el perfil del suelo, dos horas antes del riego, dos horas después del riego y 24 horas de haberse aplicado el riego.

En la Figura 5 (a), (b) y (c) se puede observar la humedad gravimétrica contenida en el suelo. La humedad en el perfil es más uniforme antes y después de la aplicación del riego. Sin embargo, al detenerse la aplicación de agua, por motivo de la evaluación, las concentraciones de sales comenzaron a incrementarse a medida que la humedad del suelo se agotaba. La textura pesada del suelo permite un movimiento sumamente lento del agua en la parte saturada, por esta razón las sales se mantienen en la periferia del bulbo húmedo.

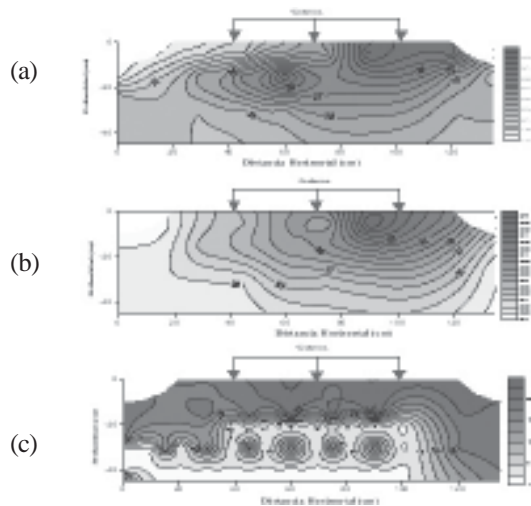


Figura 5 (a) (b) y (c) Contenidos de humedad gravimétrica dos horas antes del riego, dos horas después del riego y 24 horas de haberse aplicado el riego.

***Evaluación periódica para observar la dinámica de sales en las etapas de crecimiento, desarrollo y maduración del cultivo***

Los agentes que afectan la dinámica de los solutos en la zona radicular son: los métodos de riego y la fertirrigación, la aplicación de agua de baja calidad y los niveles de sales existentes en la solución del suelo. Por otra parte las raíces de las plantas a través de su captación de agua y solutos juegan un rol dominante en la dinámica de las sales dentro del área radicular.

La Figura 6, muestra la relación que existe entre la CE y cantidad de fertilizante en mg/l, medido en el gotero de la cinta central de la cama de siembra. La aplicación de fertilizantes se vio afectada por las precipitaciones, por este motivo no se observa una continuidad en las barras; sin embargo, la salinidad se continuó midiendo en esos periodos. Los fertilizantes tuvieron poca influencia sobre el incremento de la salinidad, esto se debe a las bajas dosis de los productos aplicados diariamente. La salinidad se mantuvo en un valor promedio de 2,9 dS/m durante la evaluación, el cual siempre estuvo por debajo del valor inicial de 6,5 dS/m.

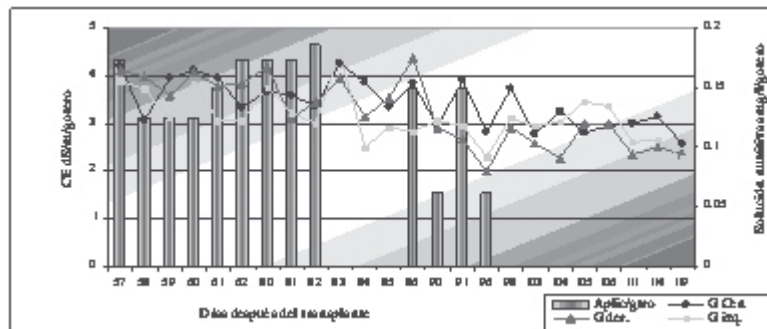


Figura 6 Evaluación de la influencia de la fertilización en la salinidad, por gotero.

***Movimiento y distribución espacial y temporal de las sales en riego por goteo***

Una característica dominante de los suelos Jaramillo (2002), es su heterogeneidad, aún en pequeñas áreas que podrían considerarse como homogéneas. Esta heterogeneidad induce a una variabilidad en las propiedades del suelo, convirtiéndose en una condición inherente de éste.

Con respecto a lo dicho anteriormente, en la Figura 7 se muestra la distribución espacial de las sales a medida que se aplicaba el riego al suelo, 28 DDT y 121 DDT; tomando en cuenta, los eventos de lluvia que se presentaron durante el ciclo del cultivo, se puede notar que el movimiento fue a los estratos más profundos, además de una distribución homogénea en toda el área de la parcela. Por otro lado, se muestra los puntos donde se encontró mayores valores de salinidad que posiblemente se deba a una condición de mal drenaje interno del suelo o de nivelación del terreno.

EVOLUCION DE LA SALINIDAD EN UN SUELO DEL VALLE DE QUIBOR, VENEZUELA, UTILIZANDO RIEGO LOCALIZADO EN EL CULTIVO DE CEBOLLA 21-37

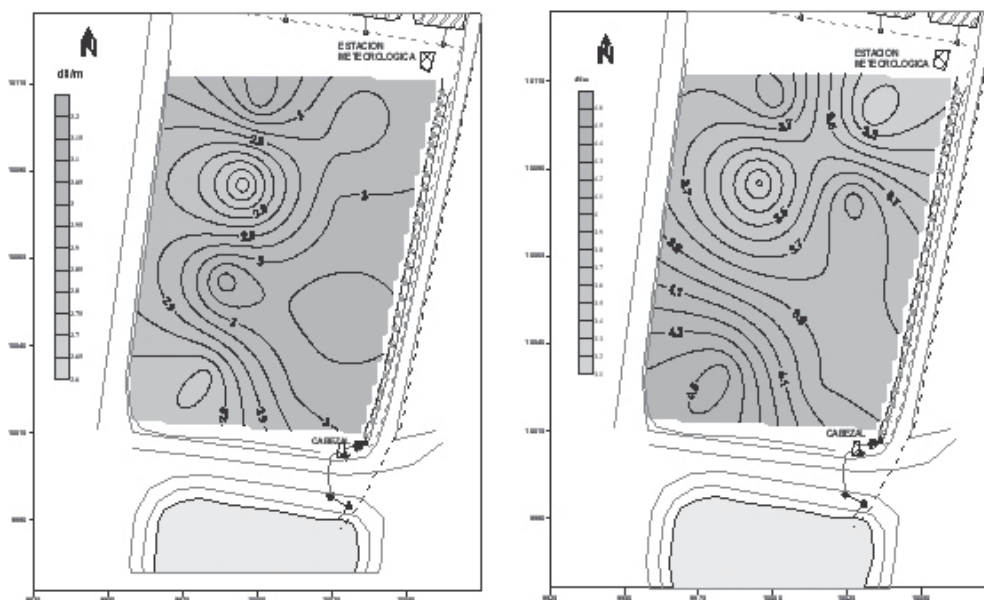


Figura 7. Distribución espacial de la salinidad ( $\text{dS m}^{-1}$ ) en la parcela a la profundidad de 0-15 cm. a los 28 DDT (12/05/2004) y a los 121 DDT (13/08/2004).

### *Salinidad en el perfil del bulbo húmedo*

Los perfiles transversal y longitudinal del bulbo de húmedo, se muestran en las Figuras 8 (a) y (b), en ellas se puede apreciar el desplazamiento de sales desde el punto de emisión del gotero hacia la periferia y hacia los estratos más profundos. En el caso de la Figura 8 (b), el desplazamiento se observa entre dos goteros consecutivos de la misma cinta.

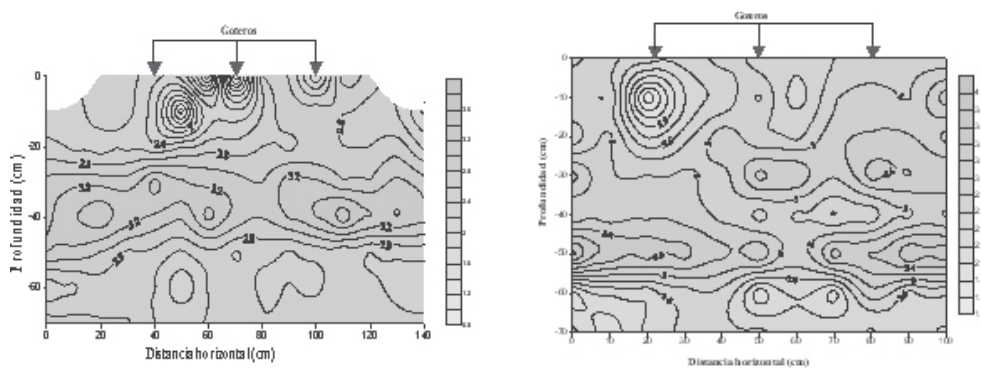


Figura 8. Distribución de la salinidad ( $\text{dS m}^{-1}$ ) en el perfil transversal (a), perfil longitudinal (b), de una cama de siembra en particular.

## Calidad del agua de riego

Al inicio de este estudio se presentaron importantes eventos de lluvia, los cuales fueron cosechados en las lagunas que posee la finca, esta agua dulce era mezclada con el agua extraída del pozo para el riego de todas las parcelas. Esto sucedió cuando el cultivo tenía poco volumen de raíces y era más sensible a los efectos de la salinidad. Una vez que estos eventos pasaron, el nivel de la laguna bajo y el riego se realizaba con agua de poca dilución, pero las plantas ya habían desarrollado un sistema radicular más pro-fundo que le ayudaban a extraer agua y nutrientes del suelo.

Dependiendo de la composición química de las aguas usadas para la fertirrigación por goteo, se pudiera incrementar la cantidad de solutos totales disueltos e incrementar la salinización del suelo. El otro problema que puede presentarse a consecuencia de la fertirrigación con aguas salina, es el incremento de sodio soluble en el suelo que pudiera afectar adversamente la permeabilidad del suelo. Otro efecto es la toxicidad de algunos iones, los cuales pueden ser un problema que aumenta a consecuencia del uso de aguas de riego de baja calidad. Sin embargo en el monitoreo del agua de riego mantuvo sus características químicas como se puede ver en la Figura 9.

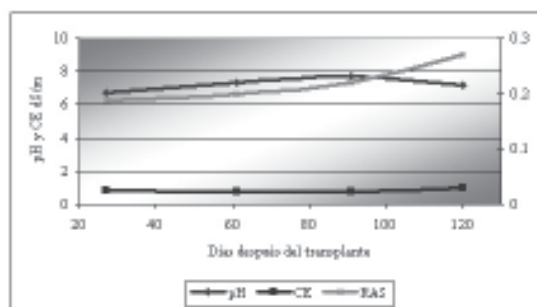


Figura 9. Monitoreo de las propiedades químicas del agua de riego para distintas etapas del cultivo.

## Conclusiones

1) El valor de la salinidad en el suelo, al inicio de la siembra fue de 6,5 dS/m. Dicho valor disminuyó cuando se establecieron los riegos y las láminas de lavado en conjunto con las precipitaciones y se mantuvo en un promedio de 3,5 dS/m. Finalizando el ciclo se incrementó a un valor de 4 dS/m. La causa podría estar asociada a la implementación de una práctica agronómica denominada “seca” donde los niveles del potencial mátrico crecen.

2) La fertirrigación por riego localizado bajo la modalidad de cinta de goteo, tuvo poca influencia sobre la conductividad eléctrica del suelo; ya que, las pequeñas dosis aplicadas diariamente no incrementaron los valores de salinidad que se tenían inicialmente.

3) Los promedios de la CE medida en los tratamientos tuvieron poca diferencias entre ellos, su desviación estándar fue menor que la unidad, no mostraron diferencia significativa entre la aplicación de la lámina de riego fraccionada en dos o tres veces al día y las distintas poblaciones evaluadas.

4) La mayoría de las sales se movieron hacia los drenajes superficiales y a los estratos más profundos, según el alcance de la humedad.

5) El uso frecuente del riego con agua de mediana calidad y las frecuentes lluvias mantuvieron la salinidad del suelo constante durante el ciclo del cultivo.

6) Existe poca diferencia entre determinar la salinidad del suelo por extracto de pasta saturada y extracción de la solución de suelo. Aunque en la solución del suelo el pH es un poco mayor ya que es determinada en la propia solución del agua del suelo mientras que en la medición en la pasta siempre se subestima el valor de pH.

7) Comparando las cantidades de cationes y aniones determinadas bajo las muestras analizadas en extracto de pasta saturada y solución de suelo, la concentración de los iones en ésta última fue un poco mayor y por ello su conductividad eléctrica también fue mayor.

8) Los valores medios de salinidad encontrados en el agua de riego se debieron a la mezcla del agua extraída de pozo y el agua almacenada de lluvia. En la etapa final, la dilución del agua de riego fue menor quedando el riego con el agua de pozo, es por ello el mayor valor de las características químicas del agua al final del ciclo.

### **Bibliografía**

BURBANO, H., 1989. El suelo, una visión sobre sus componentes biorgánicos. Universidad de Nariño. Pasto.

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.

JARAMILLO J. D. 2002. Introducción de la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. Medellín.

MMOLAWA K. and OR D. 2000. Root zone solute dynamics under drip irrigation. Biol. and Irrig., Eng. Dept., Utah State Univ. Logan, UT. 163-190

MMOLAWA K. and OR D. 2000. Water and solute dynamics under drip irrigated fields. Dissertation. Biol. and Irrig., Eng. Dept., Utah State Univ. Logan, UT. 211 p.

PIZARRO C. F. 1990. Riego localizado de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. 2da. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

SÁNCHEZ P. A. 1999. Suelos del trópico: características y manejo. 1 era Edición. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Costa Rica

SHYQ-C.A., 1995. Estudio Semidetallado de Suelos a Nivel de Series del Valle de Quibor. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Decanato de Agronomía, Departamento de Suelos, ASOCIUCLA, Barquisimeto.