



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

**Trabajo Final para optar al Grado  
de Ingeniero Agrónomo**

**Título:**

***PRODUCTIVIDAD DE LA SOJA BAJO DIFERENTES  
PROFUNDIDADES DE NAPA FREÁTICA EN LA REGIÓN DE  
LABOULAYE***

**ALUMNO: Victorio Magliano**

**DIRECTOR: Ing. Agr. Msc José Manuel Cisneros**

**CODIRECTOR: Ing. Agr. Dr. Américo José Degioanni**

**RIO CUARTO, Córdoba**

**Febrero de 2006**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

## **CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

***PRODUCTIVIDAD DE LA SOJA BAJO DIFERENTES  
PROFUNDIDADES DE NAPA FREÁTICA EN LA REGIÓN DE  
LABOULAYE***

**ALUMNO: VICTORIO MAGLIANO  
D.N.I. 27.519.909**

**DIRECTOR: ING. AGR. MSC JOSE MANUEL CISNEROS  
CODIRECTOR: ING. AGR. DR. AMERICO JOSE DEGIOANNI**

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la  
Comisión Evaluadora:**

**ING. AGR. DR. JUAN JOSE CANTERO** \_\_\_\_\_

**ING. AGR. MSC. MIGUEL REYNERO** \_\_\_\_\_

**ING. AGR. DR. RAUL CRESPI** \_\_\_\_\_

**Fecha de Presentación:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**Aprobado por Secretaría Académica:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
**Secretario Académico**

A mi familia:

- a mis abuelos Chicha y Juan Carlos, Eduardo y Clara
- a mi mamá Mildred, y a mis hermanos Vicente y Mariana
  - a Paula
  - a la Familia González (Susana Raúl y Yola)
  - a la Familia Rubés
  
- A mis Directores, Ing. Cisneros y Degioanni
  - Al productor agropecuario Carlos Ricci
  - Al Ing. Agr. Marcelo Manavella
  - Al Sr. Hugo Funes

Y a todos aquellos que hicieron posible el haber llegado a esta instancia

# Índice General

<b>I. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES .....</b>	<b>2</b>
II.1. Anegamiento-inundación y procesos hidrohalomórficos.....	2
II.2. Sobre el área de estudio.....	2
II.3. Sobre el cultivo de soja en la región.....	4
<b>III. HIPÓTESIS DE TRABAJO .....</b>	<b>5</b>
<b>IV. OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
IV.1. Objetivo general: .....	6
IV.2. Objetivos específicos: .....	6
<b>V. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>6</b>
V.1. Caracterización del área en estudio .....	6
V.1.1. Geología- geomorfología.....	7
V.1.2. Agroclima general.....	7
V.1.3. Caracterización del clima durante el ciclo.....	11
V.1.4. Suelos.....	12
V.2. Variables experimentales .....	13
V.3. Determinaciones a realizar .....	14
V.3.1.- Variables del suelo .....	14
V.3.2.- Variables climáticas .....	15
V.3.3- Agua subterránea.....	15
V.3.4- En el cultivo de soja.....	15
V.4. Interpretación de los resultados .....	16
<b>VI. RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
VI.1. Caracterización de los suelos.....	17
VI.1.1. Suelos de "Loma" y "media loma".....	17
VI.1.2. Suelo del "bajo" .....	19
VI.2. Dinámica del nivel freático .....	23
VI.2.1 Oscilación del NF.....	23
VI.2.2. Salinidad de la freática.....	26
VI.2.3. Relación entre la oscilación del NF y las variables climáticas. .....	29
VI.2.4. Salinidad del suelo y oscilación del NF.....	32
VI.3. Comportamiento del cultivo.....	37
V.3.1. Comportamiento general del cultivo .....	37
VI.3.2. Velocidad de profundización de raíces (VPR) .....	37
VI.3.3. Acumulación de biomasa .....	41
VI.3.4. Producción de granos.....	43
<b>VII. DISCUSIÓN.....</b>	<b>45</b>
<b>VIII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....</b>	<b>47</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1: Promedio de precipitaciones mensuales para Laboulaye, período 1988-1997.....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2 Balance hídrico Laboulaye con inclusión de precipitación media anual, evapotranspiración potencial (ETP) y evaporación real de tanque (EV) .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 3: Precipitación durante el ciclo del cultivo de soja .....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 4: Balance hídrico durante el ciclo del cultivo de soja.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 5: Topo secuencia de las unidades de paisaje relacionadas con el NF para cada situación. ....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 6: Recorte de plancheta del IGM de la zona de estudio, ubicando los tres suelos de la toposecuencia. ....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 7: Oscilación del nivel freático y precipitaciones para las tres situaciones estudiadas. ....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 8: Oscilación del nivel freático y del frente capilar para la situación del suelo de LOMA. ....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 9: Oscilación del nivel freático y del frente capilar para la situación del suelo de LADERA O MEDIA LOMA. ....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 10: Oscilación del nivel freático y del frente capilar para la situación del suelo de BAJO.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 11: Oscilación del nivel freático y conductividad eléctrica de la situación de LOMA.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 12: Oscilación del nivel freático y conductividad eléctrica de la situación de LADERA O MEDIA LOMA. ....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 13: Oscilación del nivel freático y conductividad eléctrica de la situación de BAJO. ....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 14: Niveles freáticos observados y estimados para la situación de LOMA. ....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 15: Niveles freáticos observados y estimados para la situación de LADERA o MEDIA LOMA. ....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 16: Niveles freáticos observados y estimados para la situación de BAJO.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 17: Distribución de la salinidad del extracto saturado (medida como CE) en la situación de BAJO (con cobertura). ....</b>	<b>33</b>

<b>Figura 18: Distribución de la salinidad del extracto saturado (medida como CE) en la situación de BAJO (sin cobertura). .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 19: Variación de la humedad del perfil de la LOMA, muestreado el 13/12/02 con indicación de la zona de influencia capilar del NF.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 20: Variación de la humedad del perfil del BAJO, muestreado el 13/12/02 con indicación de la zona de influencia capilar del NF.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 21: Profundidad del NF, ascenso capilar y profundidad de raíces en los distintos estadios fenológicos para la situación de LOMA. ....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 22: Profundidad del NF, ascenso capilar y profundidad de raíces en los distintos estadios fenológicos para la situación de MEDIA LOMA. ....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 23: Profundidad del NF, ascenso capilar y profundidad de raíces en los distintos estadios fenológicos para la situación de BAJO.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 24: Evolución de la biomasa del cultivo de soja para tres situaciones de profundidad de napa. ....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 25: Rendimiento en granos del cultivo de soja para tres situaciones de napa freática (Las letras indican diferencias significativas al 5 %).....</b>	<b>44</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1: Parámetros básicos para el cálculo del balance hídrico medio mensual para Laboulaye. ....</b>	<b>10</b>
<b>Tabla 2: Datos analíticos del perfil típico de la Serie Leguizamón, correspondiente a las situaciones de loma y ladera (INTA, 1986). ....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 3: Datos analíticos del perfil típico de la Serie Rosales, correspondiente al bajo .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 4: Valores medios, extremos y rango de oscilación de la napa freática en el sitio de ensayos (valores negativos indican debajo de la superficie del suelo). ....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 5: Valores medios, extremos y rango de oscilación de la salinidad (CE dS/m) de la napa freática en el sitio de ensayos... </b>	<b>27</b>
<b>Tabla 6: Valores promedio observados, estimados para las 3 situaciones de suelo analizadas.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 7: Variación de la salinidad de los suelos de LOMA y BAJO (medida como CE). ....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 8: Biomasa acumulada del cultivo de soja para tres situaciones de napa freática y profundidad media del NF para cada estadio. ....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 9: Componentes de rendimiento y producción de granos del cultivo de soja bajo tres situaciones de NF.....</b>	<b>44</b>

## Índice de Fotos

<b>Foto 1: Perfil representativo del suelo de loma y media loma.....</b>	<b>17</b>
<b>Foto 2: Paisaje de la situación del suelo del bajo, con presencia de sales en superficie.....</b>	<b>20</b>
<b>Foto 3: Aporte de humedad proveniente de las precipitaciones hasta los primeros 70 cm. de profundidad (flecha superior) y el ascenso capilar de la napa hasta 1, 20 m (flecha inferior).....</b>	<b>36</b>
<b>Foto 4: Vista general del cultivo en la situación de LOMA. ....</b>	<b>38</b>
<b>Foto 5: Vista general del cultivo en la situación de MEDIA LOMA. ....</b>	<b>38</b>
<b>Foto 6: Vista general del cultivo en la situación de BAJO.....</b>	<b>39</b>



## **I. INTRODUCCION**

Uno de los principales problemas ambientales del centro de Argentina es la inundación y anegamiento de las tierras, que causan pérdidas de producción agrícola ganadera, valuadas en cientos de millones de dólares. Por otra parte, la alternancia de períodos húmedos y secos, con marcado déficit hídrico, produce pérdidas de producción por carencia de agua e incremento en la salinización de los suelos de áreas bajas.

La principal causa de pérdidas de cultivos en zonas sujetas a inundación y anegamiento es el ascenso del nivel freático (NF) por encima de niveles críticos, que impiden la implantación a tiempo del cultivo, su normal desarrollo o dificultan la cosecha. Por otra parte, la existencia de freáticas superficiales y de bajo contenido salino ha demostrado ser una fuente alternativa de agua para el cultivo en años de déficit hídrico.

Durante los últimos años la soja ha sido el cultivo con un fuerte incremento en la región pampeana desplazando a cultivos tradicionales como maíz, girasol y sorgo, situación que también se observa en la región de Laboulaye. En consecuencia, la realización de este cultivo en tierras aptas para agricultura pero sujetas a oscilaciones someras del freático, puede tener un efecto positivo o negativo sobre el rendimiento del cultivo de soja.

El presente proyecto tiene como objetivo principal determinar las relaciones entre la producción de soja y la oscilación del NF en un área representativa de las Llanuras Mal Drenadas del sureste de Córdoba.

## II. ANTECEDENTES

### II.1. Anegamiento-inundación y procesos hidrohalomórficos

La formación de suelos salinos requiere el contacto de este con una fuente de sales solubles y que los procesos de acumulación prevalezcan sobre los de lavado (Darab 1981).

En las condiciones de clima que posee la región la principal vía de aportes de sales al suelo es el agua subterránea, cuya fluctuación esta determinada por el balance entre las recargas y las pérdidas (Cisneros et al., 1997).

Hay cuatro factores propuestos como principales responsables de la salinización de los suelos: la permeabilidad del suelo, la profundidad de la capa freática, la calidad del agua del NF y la fracción de lavado utilizada (Corwin 1989).

El balance de agua y sales en la freática es el resultado del equilibrio de flujos entre los **aportes o recargas** (percolación por lluvias, escurrimientos superficiales, escurrimientos hipodérmicos, escurrimiento freático y riego) y las **pérdidas o descargas** (evapotranspiración, escurrimientos hipodérmicos y freática, y drenaje, Mehanni 1988).

Los procesos de anegamiento dependen fundamentalmente de las recargas locales y saturan el perfil del suelo por ascenso de la napa freática, y producen salinización del suelo en la medida en que ese ascenso supere una **profundidad crítica** (Skaggs, 1980).

### II.2. Sobre el área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada en el sudeste de la provincia de Córdoba, teniendo como centro urbano principal a la localidad de Laboulaye, en el Departamento Presidente Roque Sáenz Peña.

Climáticamente y según la clasificación de Thorntwaite (Ruggiero y Conti, 1988) la región se encuentra dentro del tipo

climático templado subhúmedo, con estación invernal seca, mesotermal. La temperatura media anual para la serie 1961-1970 es de 16,6 °C con una amplitud térmica promedio de 14,6 °C siendo la temperatura media del período más cálido 23,1 °C y 9,5 °C para el período más frío. El periodo libre de heladas es de 233 días. La fecha media de primera helada es 16/05 y la de última helada es 13/09.

La precipitación media anual para la serie 1903 - 1999 es de 798 mm de los cuales el 74% precipita durante la primavera y el verano. El rasgo más relevante de esta variable climática es su comportamiento cíclico, con alternancia de ciclos secos y húmedos de duración entre 25 y 40 años.

La precipitación promedio para la década 1928-1938 fue de 705 mm (INTA 1986) mientras que para la década 1988-1998 fue de 952 mm con un incremento sostenido de la precipitación media anual partir de la década de 1970 (Rang *et al*, 1999; Milanesio *et al*, 1999; Paoli *et al*, 2000; Jensen *et al*, 2000). El balance hídrico modular para la estación meteorológica de Laboulaye muestra un marcado déficit en los meses de Diciembre, Enero y Febrero con un período de recarga bien definido durante los meses de marzo y abril para una ETP calculada a partir del modelo de Thornthwaite (Taylor y Aschroft, 1972).

En cuanto a las características edáficas, esta región se encuentra caracterizada por involucrar una amplia diversidad de suelos debido, fundamentalmente, a diferentes posiciones en el relieve (Agencia Córdoba DACYT, 2003). Básicamente se pueden diferenciar dos grandes ambientes fisiográficos: los bien drenados, con relieve normal y freática oscilando por debajo de la profundidad crítica y los mal drenados, de relieve subnormal, salinos - alcalinos, con freática conectada capilarmente con la superficie. Entre los primeros los suelos más representativos son Haplustoles típicos, Haplustoles énticos y Haplustoles udorténticos

de texturas arenosa franca a franca arenosa muy fina. Entre el segundo grupo de suelos se destacan Haplustoles thapto nátricos, Natracuoles, Natralboles, Natracualfes y Fracualfes (INTA, 1986).

Todos los suelos están sometidos además a oscilaciones de la napa freática que aunque afecta en diferentes proporciones de los mismos, determina la presencia de suelos salinos – sódicos, con diferentes ritmos estacionales y ocasionales de inundación y anegamiento. El NF medio oscila entre 1 y 2.5 metros llegando a la superficie para eventos de inundación.

En cuanto al riesgo de inundación, se pueden destacar tres categorías de suelos: sin riesgo de inundación con suelos clase IIc y IIIc, con riesgo de inundación esporádico con suelos clase IIIwc y con riesgos de inundación permanente, con suelos clase V y VIsw. Los suelos clase IIIwc y V poseen aptitud agrícola pero con riesgos de pérdidas de producción por inundación y anegamiento cuando la oscilación del NF se encuentra a menos de 1 metro de la superficie. El gran avance producido por la agricultura a incrementado su degradación. En la década del 50 la agricultura ocupaba 111.000 ha (trigo, maíz, sorgo ), esta superficie fue aumentando llegando a ocupar en la campaña 97/98 213.000 ha siendo el girasol el principal cultivo agrícola (Cisneros et al., 2001).

### **II.3. Sobre el cultivo de soja en la región**

En los últimos años este avance agrícola se vió intensificado con la incorporación de la soja. En nuestro país la expansión de la soja se produjo en la década del 70, y con mayor intensidad a partir de mediados de la década del 90, con la irrupción en el mercado de los genotipos modificados genéticamente.

Este cultivo fue desde entonces un motor de transformación tecnológica y de desarrollo del sector agroindustrial. El doble cultivo (trigo – soja), las tecnologías de agroquímicos, la siembra directa y más recientemente la biología molecular, con la

incorporación de genes resistente a herbicidas son algunos ejemplos de importantes cambios tecnológicos que encontraron en el cultivo de soja un polo para su incorporación y difusión en la agricultura Argentina. (INTA, 2003).

La soja tiene una capacidad de exploración del perfil de hasta dos metros de profundidad (INTA, 2001). Se han obtenido rendimientos superiores a los 4500 kg con aportes de agua subterránea, en años de déficit hídricos (Martini, 2003, comunicación personal).

La simulación del comportamiento de la soja en condiciones de aportes del NF muestra resultados similares al anterior (Marcos, 2002, comunicación personal).

El cultivo de soja sufre disminución del rendimiento al utilizar aguas con los siguientes contenidos salinos (medidos como Conductividad Eléctrica, CE): 5,5 dS/m disminuye un 10%; 7 dS/m) disminuye 20%; 9 dS/m, disminuye 50% (Pizarro, 1983). No obstante, estos resultados han sido logrados a partir de ensayos bajo riego, y no representan necesariamente las condiciones de funcionamiento de suelos afectados por la NF.

No obstante estos resultados preliminares, existen carencias de información sobre el comportamiento del complejo napa-suelo-cultivo, para diferentes profundidades del NF.

### **III. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

- ◆ El aporte capilar desde el nivel freático incrementa la productividad del cultivo de soja en cierto rango de oscilación de profundidad y salinidad del mismo.
- ◆ Existe una profundidad crítica del nivel freático que hace inviable al cultivo de soja.

## **IV. OBJETIVOS**

### **IV.1. Objetivo general:**

- Determinar la relación entre la producción de soja y el nivel de oscilación de la profundidad y salinidad del NF en un ciclo de cultivo.

### **IV.2. Objetivos específicos:**

- Determinar el ritmo de oscilación del NF en el área de estudio y su relación con los factores climáticos.
- Evaluar los estadios fenológicos, producción de materia seca y producto cosechable en diferentes situaciones de oscilación del NF.
- Evaluar las variaciones en contenido hídrico del suelo para las situaciones anteriormente mencionadas.
- Determinar la profundidad crítica del NF para los suelos analizados.
- Elaborar recomendaciones preliminares de manejo de las tierras para el cultivo de soja

## **V. MATERIALES Y METODOS**

### **V.1. Caracterización del área en estudio**

Se trabajó en un predio ubicado entre las localidades de Laboulaye y Villa Rossi, a los 34° 14' de latitud sur y a los 63° 16' de longitud oeste, ubicada en el complejo de suelos RS integrado por la serie Rosales 50%; Rosales fase salina 20%; Villa Rossi 20% y 10% otros suelos (INTA, 1986).

### **V.1.1. Geología- geomorfología**

La región está caracterizada fundamentalmente, por constituir una amplia zona de lomas muy aplanadas, con escurrimiento superficial lento y amplios sectores ligeramente deprimidos con escurrimiento superficial muy lento. Estas dos unidades presentan inclusiones de sectores francamente deprimidos, bajos propiamente dichos y lagunas y charcas temporarias y semitemporarias, por otro lado presenta en algunos sectores intercalaciones de relictos medanosos con escurrimiento rápido.

Los materiales que dieron origen a los suelos gradan desde francos para algunas lomas planas y depresiones, franco arenosos y arenosos francos en sectores ondulados y relictos medanosos. En todos los casos la permeabilidad es moderada a rápida, pero en la mayor parte de los sectores la infiltración del agua en profundidad se ve impedida por la presencia de la capa freática alta, y en partes en superficie o muy cerca de ella.

El drenaje que precisamente lo define el escurrimiento superficial y la permeabilidad es para los suelos del área muy variable, y van desde bien drenados para lomas arenosas, moderadas para lomas planas, imperfecto en sectores ligeramente deprimidos e impedido en los bajos. En los dos últimos la presencia de sales solubles y alcalinidad sódica, es una consecuencia del mal drenaje y actúan negativamente en el mismo.

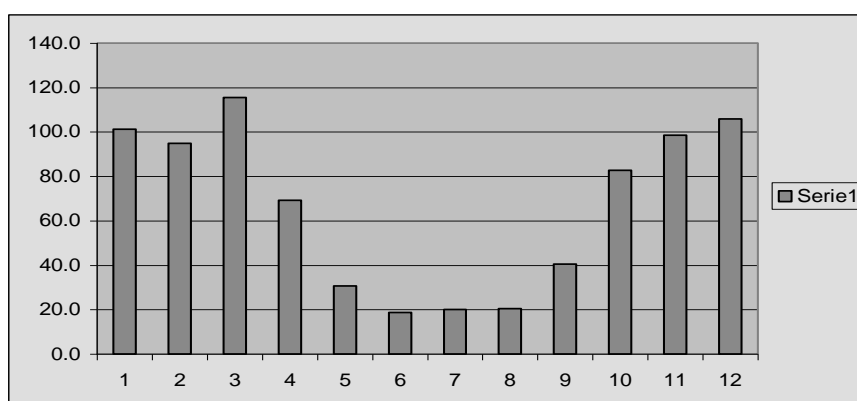
### **V.1.2. Agroclima general**

En este capítulo se describen las características generales del clima de la región, en el apartado de comportamiento de napas y cultivos se profundiza sobre variables climáticas del ciclo del cultivo.

### V.1.2.1. Precipitaciones

La media anual de precipitaciones históricas del período 1903-1998 (95 años) es de 798 mm. Los promedios anuales son variables de acuerdo a diferentes ciclos climáticos, tomando los promedios por década fluctuaron entre 705 mm (para la década 1928-1937) y 952 mm (1988-1997), lo cual nos sitúa claramente dentro de un ciclo húmedo, en el período actual.

El valor máximo anual de la serie se registro en 1998 y fue de 1391 mm (SMN Laboulaye), el mínimo se registro el año 1929 y fue de 356 mm, con una amplitud de 1035 mm, un desvío estándar de 186 mm y un coeficiente de variación de 23 % demostrando la irregularidad del régimen hídrico de la zona.



**Figura 1: Promedio de precipitaciones mensuales para Laboulaye, período 1988-1997.**

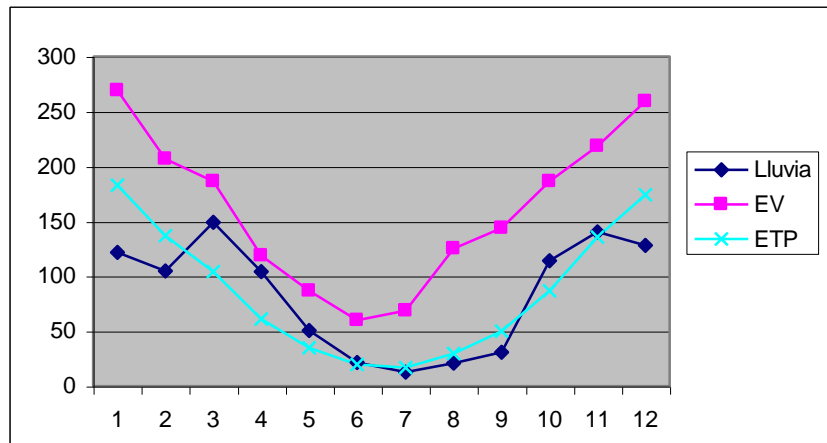
### V.1.2.2 Balance hídrico.

El balance hídrico anual muestra un marcado déficit, en los meses de Diciembre, Enero y Febrero, para los períodos en donde el balance se limita a la relación existente entre las lluvias y la ETP, es decir, donde el NF no se conecta con la superficie evaporante (Tabla 1 y Figura 2). En estas condiciones medias, el balance anual muestra un déficit del orden de 30 mm anuales.

Para las situaciones de suelo donde hay recepción de escurrimientos superficiales y donde el NF se conecta con la



superficie (napas por encima de 1 m), se deben considerar también esos aportes en el balance, lo cual hace que dicho balance sea positivo la mayor parte del año, como lo indica el fenómeno de la inundación, salvo en los meses de enero y febrero en donde el déficit sigue existiendo. Esto indica que para esas condiciones la ET potencial es muy similar a la ET real (Skaggs, 1980).



**Figura 2 Balance hídrico Laboulaye con inclusión de precipitación media anual, evapotranspiración potencial (ETP) y evaporación real de tanque (EV)**

Para el caso de los espejos de agua (lagunas y suelos saturados) el déficit es del orden de los 1000 mm anuales, tomando la evaporación de lagunas como equivalentes a la de tanque tipo A (SMN Laboulaye), este déficit alcanza valores superiores a 120 mm en los meses de verano (con un acumulado superior a los 400 mm de evaporación neta del período), un período corto de balance equilibrado durante el otoño y déficit de 30 mm en los meses de invierno (Tabla 1 y Figura 2).

**Tabla 1: Parámetros básicos para el cálculo del balance hídrico medio mensual para Laboulaye.**

Mes	Precipitación media mensual (mm)	Evaporación Tanque Tipo A (mm)	ET Potencial (mm)	Balance Hídrico medio (mm)
1	121,75	269,25	183	-61,25
2	104,89	206,61	137	-32,11
3	149,15	186,23	104	45,15
4	104,28	118,79	61	43,28
5	50,84	86,86	35	15,84
6	21,51	59,91	20	1,51
7	13,08	68,88	17	-3,92
8	20,98	125,34	30	-9,02
9	30,82	143,75	50	-19,18
10	113,99	186,33	87	26,99
11	140,33	218,33	136	4,33
12	127,98	259,35	174	-46,02
BALANCE HÍDRICO MEDIO ANUAL				-34,4

#### V.1.2.3. Temperaturas:

Según datos de la Estación Meteorológica del SMN, para Laboulaye la temperatura media anual es de 16.6 °C, con una amplitud térmica promedio de 14.6°C y una media máxima de 24.7 y absoluta de -10.8°C, con un periodo libre de heladas de 233 días

En base a los valores de temperatura, se pueden definir 4 estaciones térmicas:

- Verano térmico: para la región se extiende desde principio de Noviembre hasta principio de Marzo.

- Estación intermedia sin heladas: Se extiende desde principios a fin de Octubre y la primera quincena de Marzo.

- Estación intermedia con heladas: Va desde principio de Agosto a principio de Octubre y desde mediado de Marzo a fin de Mayo.

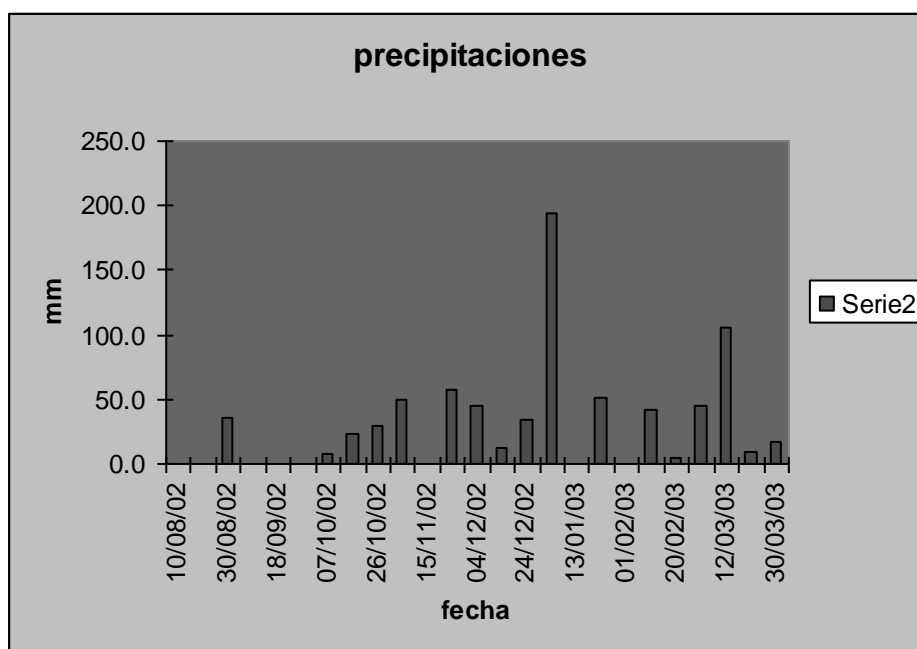
- Invierno térmico: Se extiende desde mediado de Mayo a fin de Julio.

### **V.1.3. Caracterización del clima durante el ciclo**

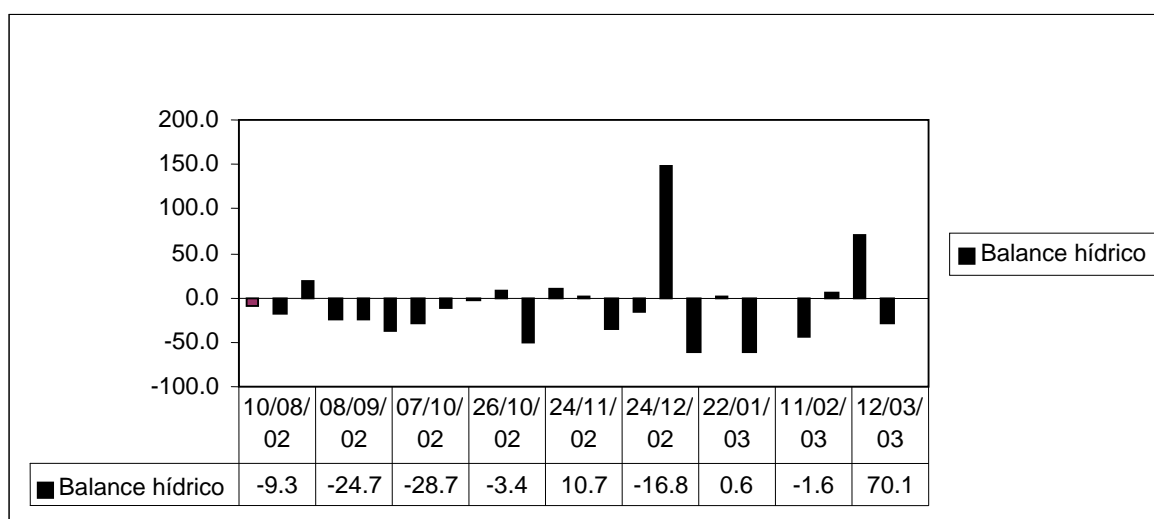
El ciclo 2002-2003 presentó muy buenas condiciones climáticas para el desarrollo del cultivo de soja. Con un total de precipitaciones en el año 2002 de 744mm, de los cuales 384mm ocurrieron en el último trimestre, mientras que en el primer trimestre del 2003 las precipitaciones llegaron a los 340mm.

Durante el ciclo del cultivo las precipitaciones sumaron 762 mm, con una distribución homogénea a pesar de no haber ocurrido lluvias de gran magnitud, hubo una recarga importante hacia fines de febrero coincidiendo estas con el periodo crítico del cultivo (Figura 3).

La evapotranspiración potencial para el ciclo del cultivo estimada mediante el método de Penmann fue de 957mm, con lo cual el balance hídrico estimado para el ciclo arrojó un déficit de 195.6 mm (Figura 4).



**Figura 3: Precipitación durante el ciclo del cultivo de soja**



**Figura 4: Balance hídrico durante el ciclo del cultivo de soja.**

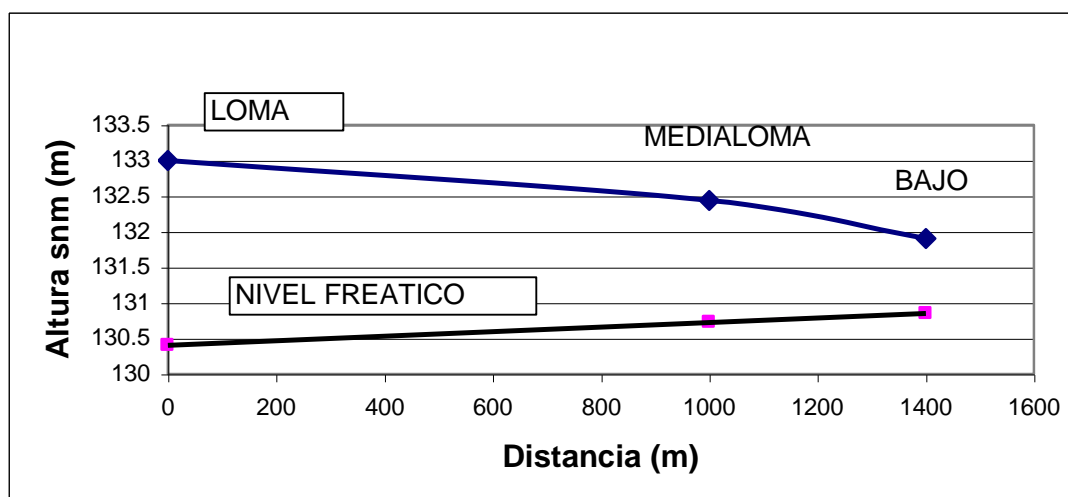
#### V.1.4. Suelos

Se trabajó con 3 unidades de paisaje simple: loma, media loma y bajo. Los suelos de loma y media loma presentan características similares por los cuales se ubican en la misma serie del complejo, mientras que el suelo del bajo presenta características diferenciales.

## V.2. Variables experimentales

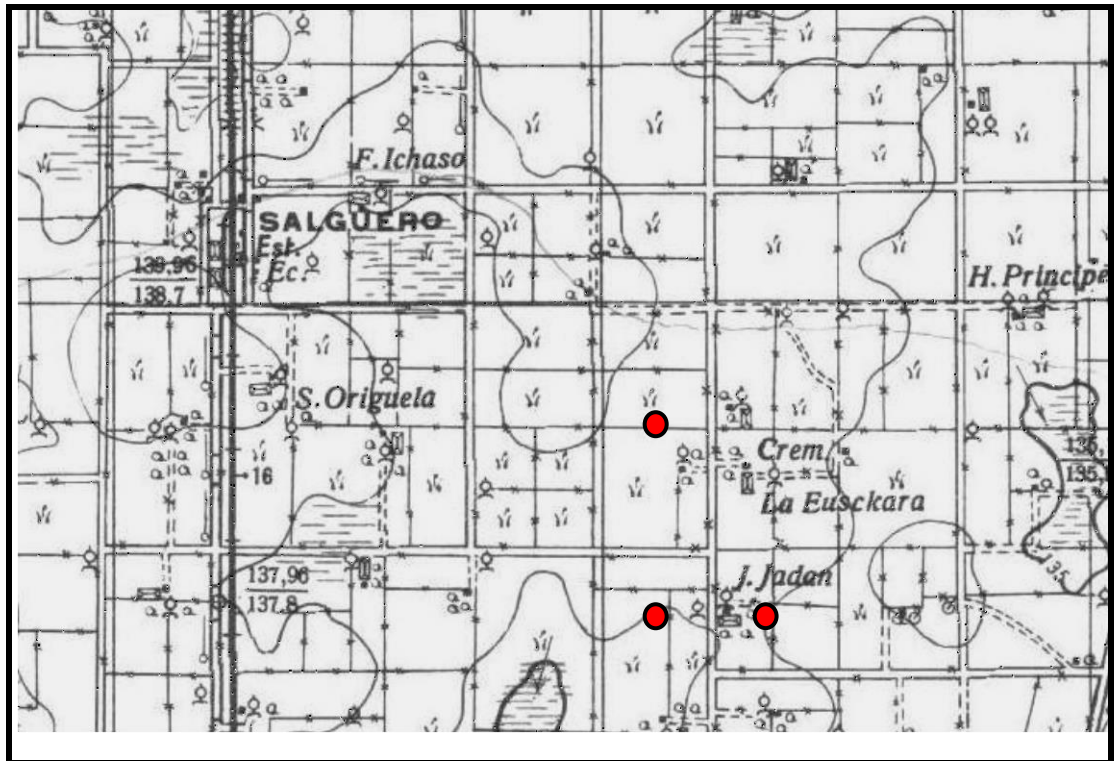
En una toposecuencia del predio (Figuras 5 y 6) se definieron tres situaciones representadas por las tres posiciones en el relieve que determinan tres niveles de oscilación del NF:

1. Situación de loma plana (en adelante LOMA): NF + de 2,5 m.
2. Situación de ladera intermedia (MEDIA LOMA): NF entre 2,5 y 1,5 m.
3. Situación de bajo (BAJO): NF menos de 1 m.



**Figura 5: Topo secuencia de las unidades de paisaje relacionadas con el NF para cada situación.**

Sobre esta toposecuencia se estableció un cultivo de soja cultivar A 5901 de Nidera, de ciclo intermedio, con sistema de siembra directa, en dirección a la pendiente principal de la toposecuencia.



**Figura 6: Recorte de plancheta del IGM de la zona de estudio, ubicando los tres suelos de la toposecuencia.**

En cada situación se instaló un freatómetro para el seguimiento del nivel y la salinidad de la freática, con frecuencia quincenal.

### **V.3. Determinaciones a realizar**

#### **V.3.1.- Variables del suelo**

a- Caracterización morfológica completa, en base a las Normas de Reconocimiento de Suelos (Etchevehere, 1976), y a la nueva nomenclatura de horizontes (Soil Taxonomy, 2002).

b. Conductividad eléctrica del extracto saturado (Richards, 1973) a la siembra, R2<sup>1</sup> - R3 y R5.

<sup>1</sup> V3 (vegetativo con tres hojas verdaderas), V6-7 (vegetativo con seis y siete hojas verdaderas), R1 (inicio de floración) – R5 (inicio de llenado de granos); R7 (madurez fisiológica).

c- Humedad gravimétrica hasta la profundidad del NF a la siembra, R1 - R2 - R3 y R5

### **V.3.2.- Variables climáticas**

Los datos se tomaron de la Estación Automática instalada en el IPEM N° 25 de Villa Rossi, y son los siguientes:

- a- Radiación solar diaria
- b- Precipitaciones diarias
- c- Temperaturas diarias
- d- Humedad Relativa diaria

### **V.3.3- Agua subterránea**

Se registró:

- a- Oscilación del NF con frecuencia quincenal.
- b- Determinación de conductividad eléctrica del agua del NF con frecuencia quincenal.

### **V.3.4- En el cultivo de soja**

El cultivar utilizado fue A 5901 de Nidera, del cual la empresa proveedora informa las siguientes características:

- ✓ Crecimiento: determinado
- ✓ Color de flor: blanca
- ✓ Días a floración: 67
- ✓ Días a madurez: 164
- ✓ Altura de planta: 1.06mt (planta alta de mediana ramificación)
- ✓ Grupo de madurez: 5.8
- ✓ Peso de 1000 semillas: 160gr

Las determinaciones fueron las siguientes:

- a- Número de plantas: densidad de plantas por ha.
- b- Índice de Área Foliar: En las etapas R1 y R2

c- Medición de materia seca en V3, V6-7, R1, R5 y R7. Para realizar las mediciones antes mencionadas se extraen cinco plantas continuas de un mismo surco de los correspondientes ensayos. En R7 se determinó MS por separado entre semilla y parte vegetativa.

d- Rendimiento en grano: Se obtuvo mediante la elección de tres surcos consecutivos de medio metro de largo, previamente se extrajeron de cinco a diez plantas, a las cuales se les contó el número de frutos por planta, se seleccionaron veinte frutos y cuento el número de semillas por fruto. De las semillas se realizaron tres muestras de cien semillas por cada tratamiento.

#### **V.4. Interpretación de los resultados**

Las variables del cultivo para cada situación de napa se compararán mediante *test t* de comparación de medias (Snedecor y Cochran, 1986). Se establecieron relaciones funcionales entre variables mediante análisis de regresión, principalmente entre balance hídrico-oscilaciones en profundidad y salinidad del freático, profundidad media del NF - rendimiento del cultivo, determinación de profundidad crítica y su relación con la textura, profundidad del freático-frente de humedecimiento del suelo.



## VI. RESULTADOS

### VI.1. Caracterización de los suelos

#### VI.1.1. Suelos de "Loma" y "media loma"

Los suelos analizados corresponden a la serie Leguizamón (INTA, 1986) para el caso de la loma y ladera, el cual es un suelo oscuro, bien drenado, desarrollado sobre materiales franco arenosos en áreas planas o en ligeras concavidades dentro de un paisaje de lomas suavemente onduladas del SE de la Provincia de Córdoba (Foto 1).



**Foto 1: Perfil representativo del suelo de loma y media loma.**

Taxonómicamente el suelo es similar a un Haplustol típico (Soil Taxonomy, 2002) de textura general franco arenosa fina con la siguiente secuencia de horizontes:

- **Ap:** 0-6 cm, con abundante cantidad de raíces, franco arenosa, estructura en bloques subangulares, medios, moderados y granular fino, ligeramente duro, friable, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo, límite inferior claro suave.

- **A2d:** 6-24 cm, franco arenoso, estructura en bloques angulares, gruesos, moderados, con poca exploración de agregados presentando crecimiento radicular por grietas, ligeramente duro, friable, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo, límite inferior abrupto ondulado

- **Bw:** 24-44 cm, franco, bloques subangulares y prismas finos, medios, moderados a débiles, ligeramente duro, friable, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo, límite inferior claro suave.

- **Bc:** 44-80cm, franco arenoso, bloques subangulares, moderados a débiles, blando, muy friable, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo, límite inferior claro, suave.

- **C:** + de 80cm, franco arenoso, bloques subangulares finos a grano suelto muy débiles, muy friable, no plástico, no adhesivo, no presentó reacción a carbonatos hasta el 1,6 m.

Los datos analíticos del perfil típico fueron extraídos de la carta de Suelos de INTA (1986), y se indican en la Tabla 2.

**Tabla 2: Datos analíticos del perfil típico de la Serie Leguizamón, correspondiente a las situaciones de loma y ladera (INTA, 1986).**

Horizontes	Ap	Bw	B3	C
Profundidad de la muestra, cm	0-21	21-40	40-66	66 a +
Materia orgánica, %	2.88	0.98	0.61	0.29
Carbono orgánico, %	1.68	0.57	0.36	0.17
Nitrógeno total, %	0.168	0.078	0.059	0.039
Relación C/N	10.0	7.3	6.1	4.3
Arcilla, menores a 2 micras, %	14.8	15.6	12.4	9.6
Limo, 2-50 micras,%	34.0	29.8	29.9	28.8
Arena m.f., 50-100 micras, %	49.8	54.0	56.4	57.8
Arena f., 100-250 micras, %	0.5	0.5	0.3	2.1
Arena m., 250-500, micras, %	02	-	-	-
Arena g., 500-1000, micras, %	-	-	-	-
Arena m.g., 1-2, mm, %	-	-	-	-
Calcáreo, CaCO <sub>3</sub> , %	-	-	-	-
Equivalente de humedad, %	19.0	17.1	14.9	13.2
Ph en pasta	5.0	6.3	6.5	6.8
Ph en agua 1:2.5	5.6	6.8	7.1	7.8
Cationes de intercambio, m.e./100gr				
Ca <sup>++</sup>	12.2	7.2	7.0	7.1
Mg <sup>++</sup>	1.9	1.6	2.6	2.7
Na <sup>+</sup>	0.3	0.3	0.3	0.3
K <sup>+</sup>	2.8	2.1	1.7	1.9
H <sup>+</sup>	2.7	1.9	0.6	-
Na <sup>+</sup> , % del valor T	-	-	-	-
Conduct. (mmhos/m)	-	-	-	-
Suma de bases, m.e./100gr (S)	12.2	11.2	11.6	12.0
Capacidad de intercambio catiónico, m.e./100 (T)	14.8	13.0	12.1	11.8
Saturación con bases, % (S/T)	82	86	96	100

### **VI.1.2. Suelo del "bajo"**

El bajo corresponde a la serie Rosales (INTA, 1986), los suelos de esta serie se vinculan a paisajes muy planos a

ligeramente deprimidos, cuyo escurrimiento superficial es lento. El drenaje interno es imperfecto y presentan alcalinidad sódica a partir de los 34 cm de profundidad.

La capa arable de 23 cm de espesor es de color pardo oscuro, estructura en bloques con abundante contenido de materia orgánica.

Estos suelos se encuentran en el límite de la aptitud agrícola, ya que la presencia de alcalinidad sódica a partir de los 34 cm, impide el desarrollo normal de las raíces, particularmente de los cultivos de raíces profundas (Foto 2).



**Foto 2: Paisaje de la situación del suelo del bajo, con presencia de sales en superficie.**

Las características morfológicas de este suelo se describen a continuación.

- **Ap:** de 0-11 cm, franco arenoso, estructura en bloques angulares, medios, moderados, blando, friable, plástico, ligeramente adhesivo, límite inferior claro, suave.
  
- **A2d:** de 11-29 cm, franco arenoso, bloques angulares gruesos, moderados, blando, friable, plástico, ligeramente adhesivo, límite inferior claro, suave.
  
- **Bw1:** de 29-52 cm, franco, estructura en prismas finos, fuertes a moderados, que rompen a bloques subangulares, ligeramente duro, friable, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo, moteados escasos pardos rojizos, con un mayor desarrollo que el horizonte B de la loma.
  
- **B2tg:** de 52-76 cm, franco, estructura en prismas y bloques subangulares finos, barnices escasos, abundantes moteados, duro, friable, ligeramente plástico, ligeramente adhesivo, horizonte gleizado con humedad del frente capilar del NF.
  
- **B3gx:** de 76-100 cm, franco arenoso, estructura en bloques subangulares, finos, débiles, friable, no plástico, no adhesivo, moteados verde grisáceos y pardo-rojizos abundantes, gleización intensa y presencia de sectores con leve cementación discontinua de tipo fragipán.
  
- **Cg:** mas de 100 cm, franco arenoso, estructura en grano suelto, no plástico, no adhesivo, fuerte gleización, sin reacción a carbonatos. Horizonte cercano a saturación por presencia de la napa freática.

Los datos analíticos del perfil del bajo, correspondientes a la Serie Rosales, se indican en la Tabla 3.

**Tabla 3: Datos analíticos del perfil típico de la Serie Rosales, correspondiente al bajo**

Horizontes	A1	A2	B2t	B3	C
Profundidad de la muestra, cm	0-23	23-34	34-52	52-75	75 a+
Materia orgánica, %	2.41	0.69	0.52	0.19	
Carbono orgánico, %	1.40	0.40	0.30	0.11	
Nitrógeno total, %	0.17	0.06	0.05		
Relación C/N	8.2	6.6	6.0		
Arcilla menores a 2 micras, %	11.7	6.2	18.9	11.5	9.2
Limo, 2-50 micras, %	30.7	28.5	23.6	22.6	22.7
Arena m.f., 50-100 micras, %	39.3	50.7	38.6	51.5	51.6
Arena f., 100-250 micras, %	16.3	13.6	17.4	12.9	14.9
Arena m., 250-500 micras, %	0.05			0.05	0.05
Arena g., 500-1000 micras, %	0.05			0.05	0.05
Arena m.g., 1-2 mm, %					
Calcáreo, CaCO <sub>3</sub> , %	0	0	0	0	0
Equivalente de humedad, %	1805	13.3	22.6	19.6	14.7
Ph en pasta	5.7	7.1	7.2	7.4	7.4
Ph en agua 1:2.5	5.8	7.2	7.5	7.7	7.9
Cationes de intercambio, m.e./100gr					
Ca <sup>++</sup>	5.7	3.3	7.4	5.9	3.2
Mg <sup>++</sup>	1.2	2.2	1.3	1.7	0.7
Na <sup>+</sup>	0.2	0.7	2.4	2.3	3.8
K <sup>+</sup>	0.9	1.5	0.7	1.5	1.5
H <sup>+</sup>	3.1	0.8			
Na <sup>+</sup> , % del valor T			20	22	41
Conduct. (dS/m)	1,5 a 20 (*)				
Suma de bases, m.e./100gr (S)	8.0	7.7	11.8	10.4	9.2
Capacidad de intercambio catiónico, m.e./100gr (T)	11.3 71	8.6 89	11.8 100	10.4 100	9.2 100
Saturación con bases, % (S/T)					

(\*) Variación de la CE del extracto saturado en situaciones de suelo cubierto y desnudo.

## **VI.2. Dinámica del nivel freático**

### **VI.2.1 Oscilación del NF**

Las situaciones analizadas mostraron una oscilación promedio del NF de entre 103 y 261 cm para las situaciones de BAJO y LOMA respectivamente, con un valor intermedio de 186 cm para la LADERA. Los valores medios, extremos y el rango de oscilación se indican en la Tabla 4.

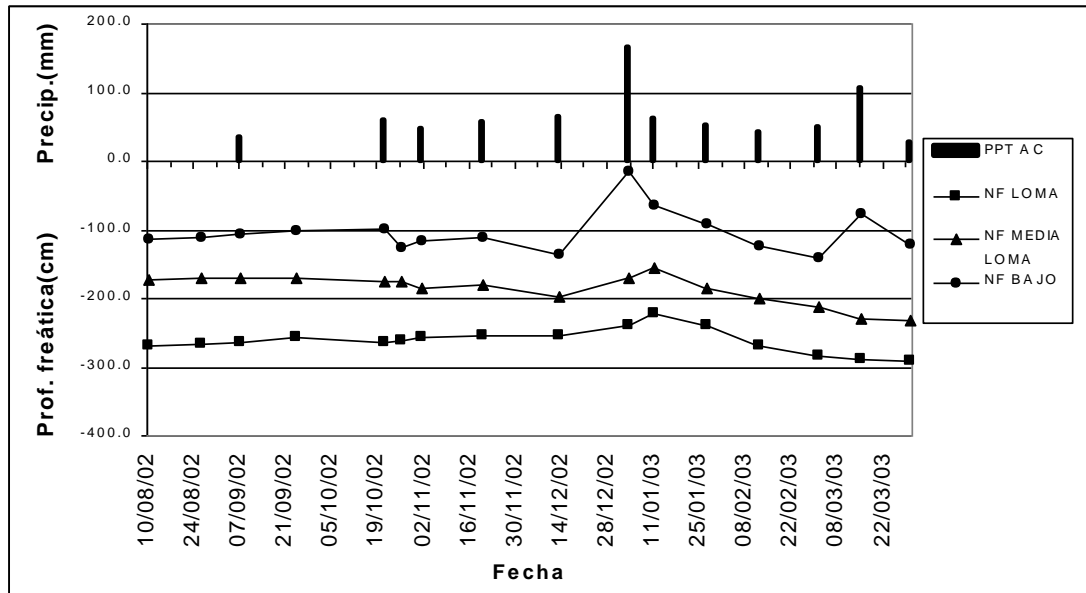
**Tabla 4: Valores medios, extremos y rango de oscilación de la napa freática en el sitio de ensayos (valores negativos indican debajo de la superficie del suelo).**

Variable	Situación del paisaje		
	LOMA	LADERA	BAJO
NF medio	- 261.5 cm	-186.5 cm	-103.2 cm
NF medio durante el ciclo	-261.5 cm	-186.5 cm	-103.2 cm
NF máximo	-292 cm	-233 cm	-140 cm
NF mínimo	-223 cm	-155 cm	-15 cm
Rango de oscilación	69 cm	78 cm	125 cm

En la Figura 7 se muestra la oscilación del NF durante el ciclo de muestreo para las tres situaciones analizadas. Las freáticas de LOMA y LADERA mostraron un comportamiento similar, con una oscilación paralela, lo que indica que sus ritmos de recarga y descarga fueron similares, y que el valor medio de oscilación responde fundamentalmente a la posición topográfica.

El comportamiento del NF en el BAJO mostró un comportamiento más errático, en especial en la época de recarga, en donde los ascensos observados no guardaron correspondencia con el de los otros suelos. Este hecho podría atribuirse a una menor franja de suelo libre por encima del NF que produce una

respuesta más rápida en la recarga, y a la existencia de posibles aportes superficiales desde otros sectores de la cuenca, en especial de la zona de los "5 Molinos" (Rang et al., 1999).



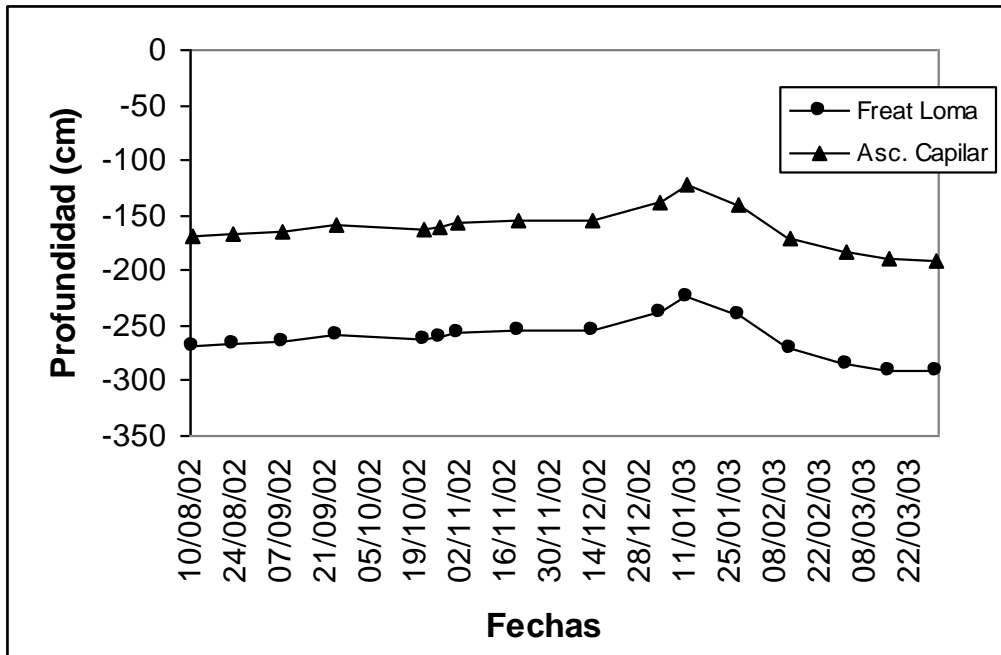
**Figura 7: Oscilación del nivel freático y precipitaciones para las tres situaciones estudiadas.**

En las Figuras 8 a 10 se indica la variación del NF y la probable oscilación del frente capilar de la napa, considerando que este tiene un espesor aproximado de 1 m (Cisneros et al., 1998).

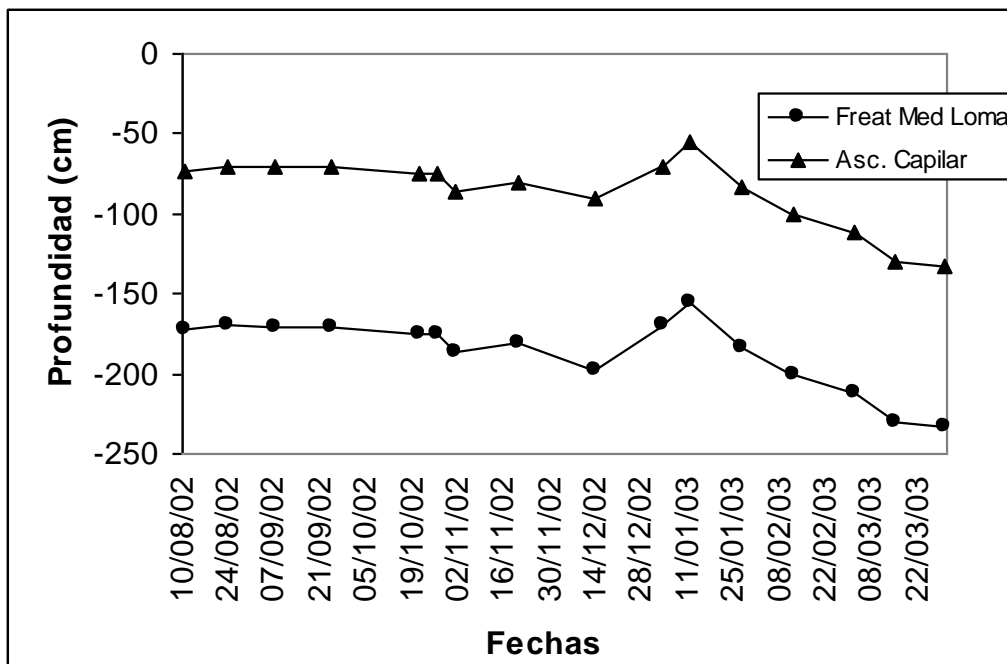
La estimación muestra que para la situación de la LOMA, el frente capilar oscila aproximadamente entre 120 y 170 cm durante el ciclo del cultivo, con lo cual podría haber un aporte al cultivo en ciclos avanzados de desarrollo, cuando el sistema de raíces alcance el frente capilar.

Para la situación de LADERA o MEDIA LOMA, el límite superior del frente capilar oscila entre 30 y 70 cm, con lo cual los aportes de la napa al sistema de raíces serían permanentes, desde estadios intermedios de desarrollo del cultivo.





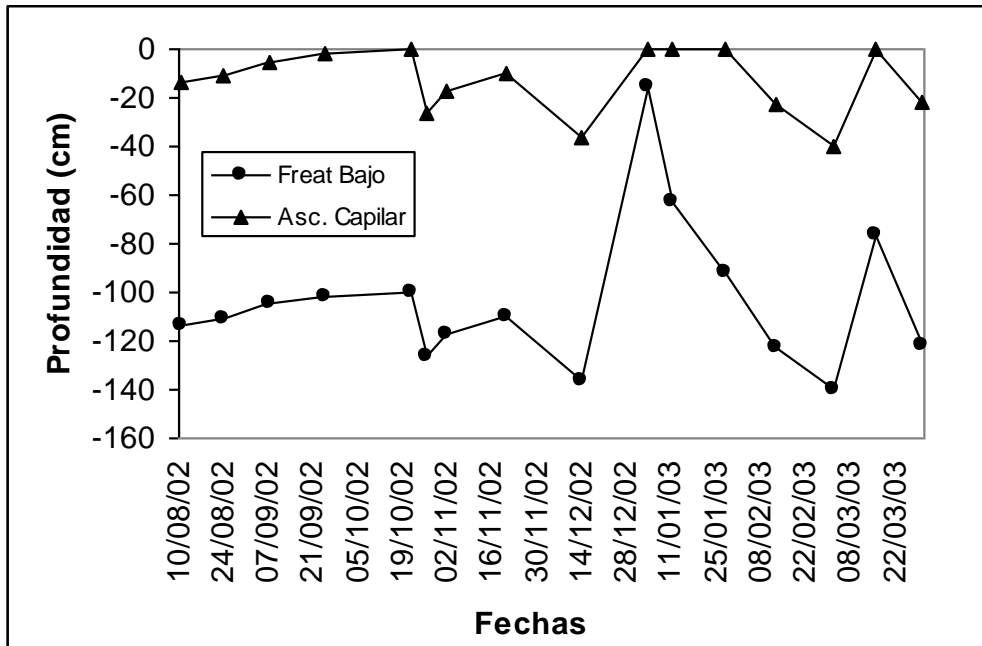
**Figura 8: Oscilación del nivel freático y del frente capilar para la situación del suelo de LOMA.**



**Figura 9: Oscilación del nivel freático y del frente capilar para la situación del suelo de LADERA O MEDIA LOMA.**

Para la situación del BAJO, la profundidad del frente capilar alcanzaría la superficie durante gran parte del ciclo, con lo cual existirían potenciales peligros de salinización, y hasta en algunos

momentos del ciclo (mediados de Enero) anegamiento casi total del suelo.



**Figura 10: Oscilación del nivel freático y del frente capilar para la situación del suelo de BAJO.**

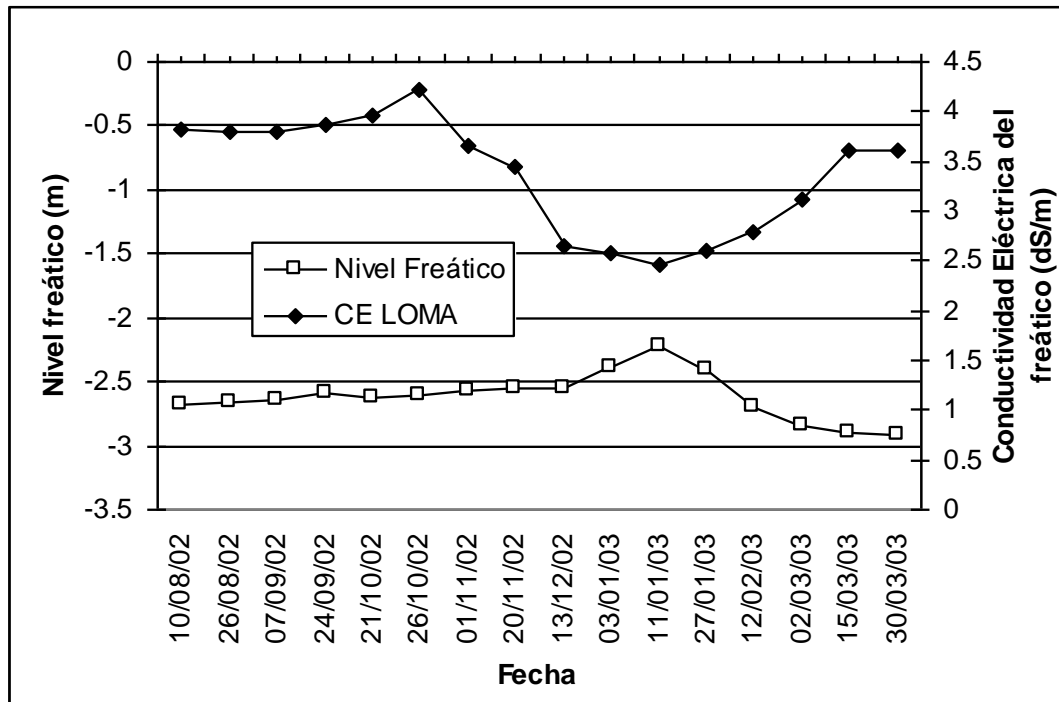
#### VI.2.2. Salinidad de la freática

La salinidad del NF, medida como CE mostró valores relativamente bajos. El rango de oscilación de la CE fue entre 0,5 y 4,2 dS/m, lo cual refleja un acuífero de alto potencial para la provisión de agua a los cultivos (Tabla 5).

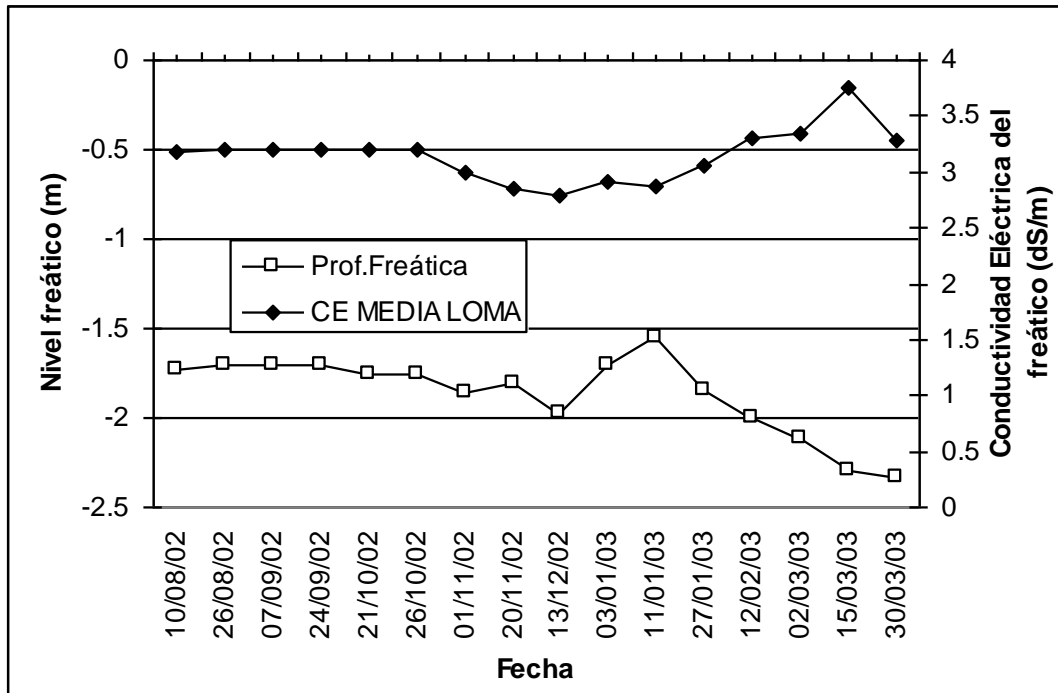
En las Figuras 11 a 13 se muestra la oscilación temporal de la salinidad del NF a lo largo del ciclo de muestreo. El rango de variación máximo de la salinidad varió en el sentido BAJO>LOMA>MEDIA LOMA, lo cual indicaría probablemente un efecto de dilución más marcado en las posiciones más bajas, por efecto de un mayor ritmo de recargas. Resultados similares fueron encontrados por Cisneros et al. (1997).

**Tabla 5: Valores medios, extremos y rango de oscilación de la salinidad (CE dS/m) de la napa freática en el sitio de ensayos.**

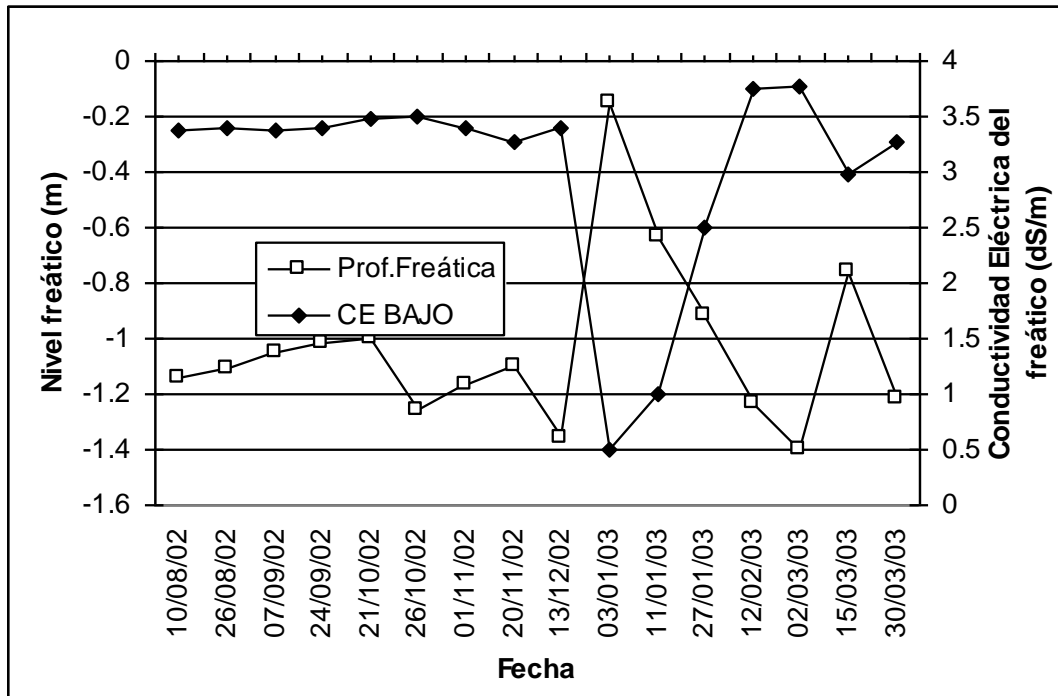
Variable	Situaciones del paisaje		
	LOMAS	MEDIA LOMA	BAJO
CE media total (dS/m)	3.3	3.1	3.5
CE media del ciclo del cultivo	3.3	3.1	3.5
CE máxima	4.2	3.7	3.7
CE mínima	2.4	2.7	0.5
Rango de CE	1.7	0.9	3.2



**Figura 11: Oscilación del nivel freático y conductividad eléctrica de la situación de LOMA.**



**Figura 12: Oscilación del nivel freático y conductividad eléctrica de la situación de LADERA O MEDIA LOMA.**



**Figura 13: Oscilación del nivel freático y conductividad eléctrica de la situación de BAJO.**

En las situaciones de LOMA y MEDIA LOMA, a pesar de la baja salinidad, la freática no presentó diluciones marcadas ante el evento de las precipitaciones, como se puede observar en las Figuras 11 y 12. En este sentido el comportamiento de la conductividad eléctrica de la freática sigue una tendencia decreciente ante la elevación del NF, lo cual es coherente debido a la entrada al sistema de un aporte agua proveniente de las precipitaciones, provocando así una dilución del contenido salino.

Esta respuesta se manifiesta de forma más rápida cuanto más cerca de la superficie se encuentre el NF, como queda reflejado en el comportamiento que tuvo la napa y como vario la salinidad de la misma en la situación de BAJO.

En términos regionales, la salinidad del NF es baja, comparada con determinaciones hechas en proximidades de Villa Rossi (Degioanni, comunicación personal) y zona Norte de Laboulaye (Cisneros, 1994), por lo que representa un excelente fuente de agua para los cultivos, necesaria de conservar adecuadamente.

### **VI.2.3. Relación entre la oscilación del NF y las variables climáticas.**

Del análisis de la Figura 7 se desprende que la respuesta del ascenso del NF ante las precipitaciones es mas estable para las situaciones de LOMA y MEDIA LOMA ya que por encima del NF hay un mayor espesor de suelo, con una mayor capacidad de retención hídrica, con lo cual a igual precipitación un porcentaje menor de la lluvia recarga el NF.

Para la situación de BAJO luego de ocurrida una precipitación de mediana a gran magnitud, la respuesta del NF es casi inmediata. Además para esta situación, por la ubicación que ocupa en el relieve, también es posible el aporte de agua proveniente de

escurrimiento superficial el cual incrementaría la respuesta del NF (Degioanni et al., 2004).

No obstante en el BAJO se manifestó la presencia de la oscilación del NF en el nivel crítico o por encima de éste. Ello quedó evidenciado por la presencia de un afloramiento salino como se muestra en la Foto 2 y Tabla 3 pasando de 1.5 dS/m a 20 dS/m en superficie, se genera una amplia variación de salinidad por microrelieves y anegamientos temporarios durante el ciclo del cultivo.

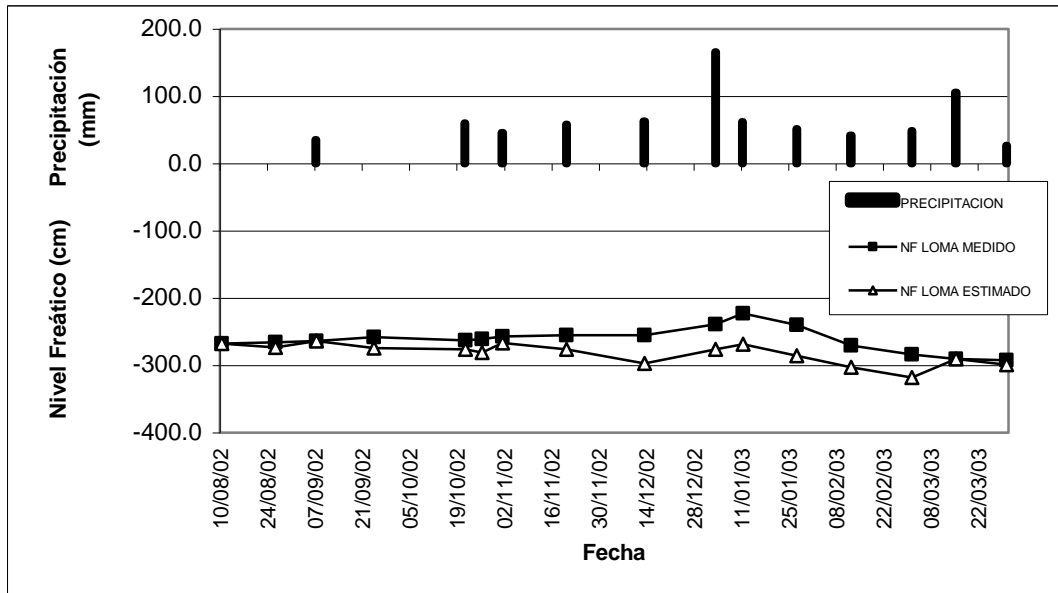
La oscilación del NF fue estimada por un modelo desarrollado por Cisneros (1994). El modelo utiliza datos medidos para desarrollar una correlación entre la oscilación del NF y el balance hídrico estimado por el método de Thornwaite. En las Figuras 14,15 y 16 se indican los valores observados y estimados para las tres situaciones analizadas.

En la Tabla 6 se indican los valores promedios del NF medidos, estimados y las diferencias entre ambos.

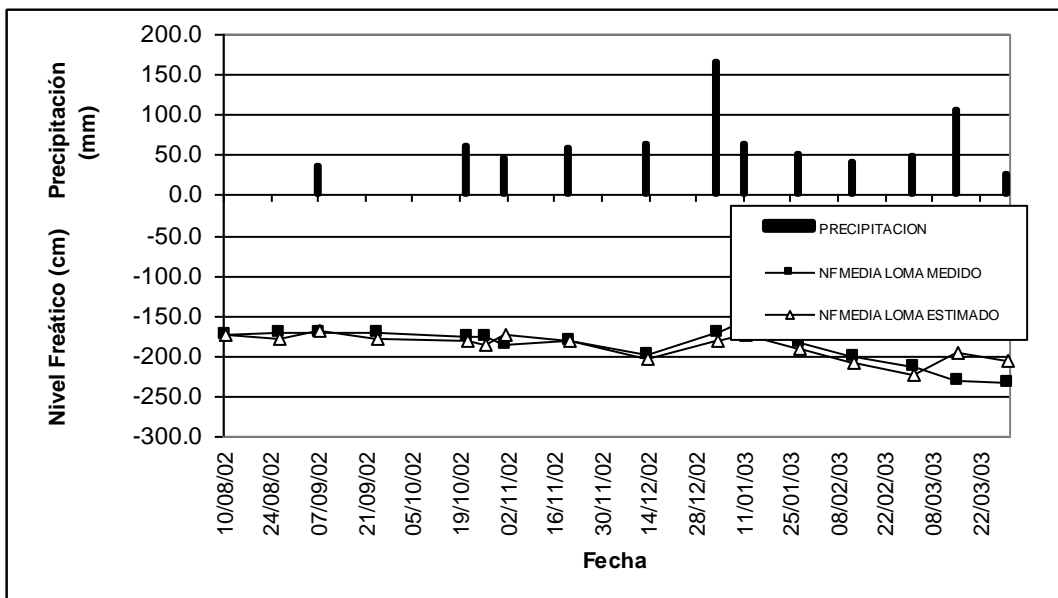
**Tabla 6: Valores promedio observados, estimados para las 3 situaciones de suelo analizadas.**

Profundidad del NF	Situación del paisaje		
	LOMA	MEDIA LOMA	BAJO
NF promedio medido (cm)	-262	-187	-103
NF promedio estimado (cm)	-282	-187	-128
Diferencia Est.- Obs. (cm)	21	1	25

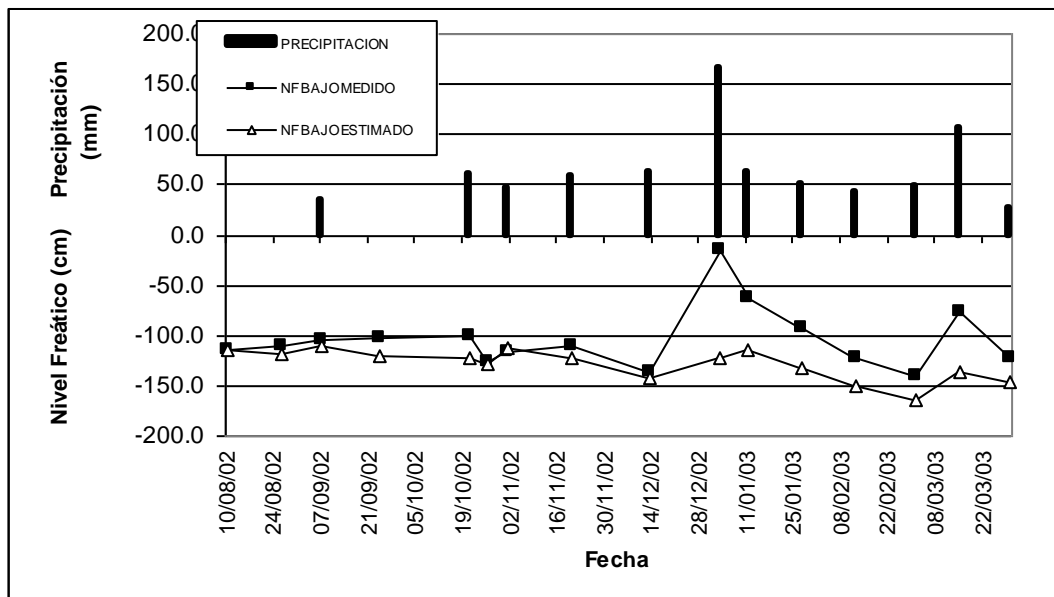
Se observa una alta correspondencia entre valores estimados y observados para la situación de MEDIA LOMA y una menor concordancia para las situaciones de LOMA y BAJO, en ambos casos el modelo produce una subestimación del ascenso, propio de su carácter empírico.



**Figura 14: Niveles freáticos observados y estimados para la situación de LOMA.**



**Figura 15: Niveles freáticos observados y estimados para la situación de LADERA o MEDIA LOMA.**



**Figura 16: Niveles freáticos observados y estimados para la situación de BAJO.**

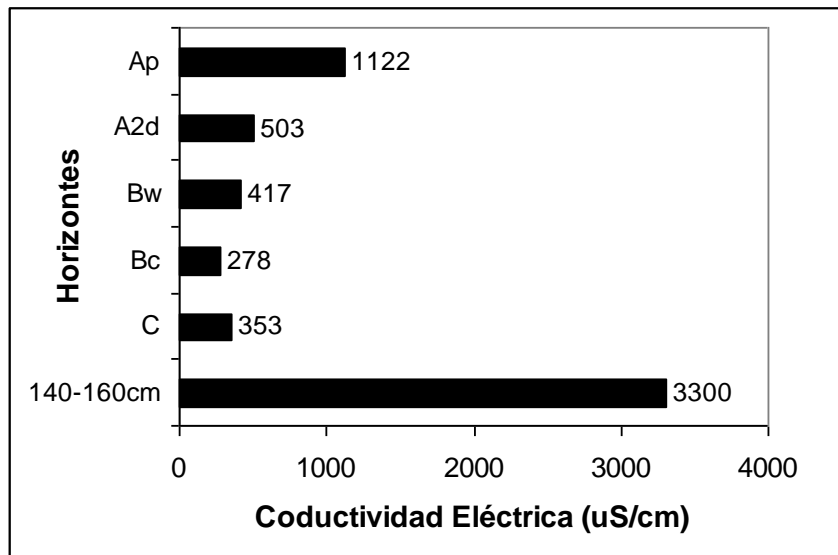
#### VI.2.4. Salinidad del suelo y oscilación del NF

Los perfiles de suelo mostraron variaciones en cuanto a la distribución de la salinidad para las diferentes profundidades del NF.

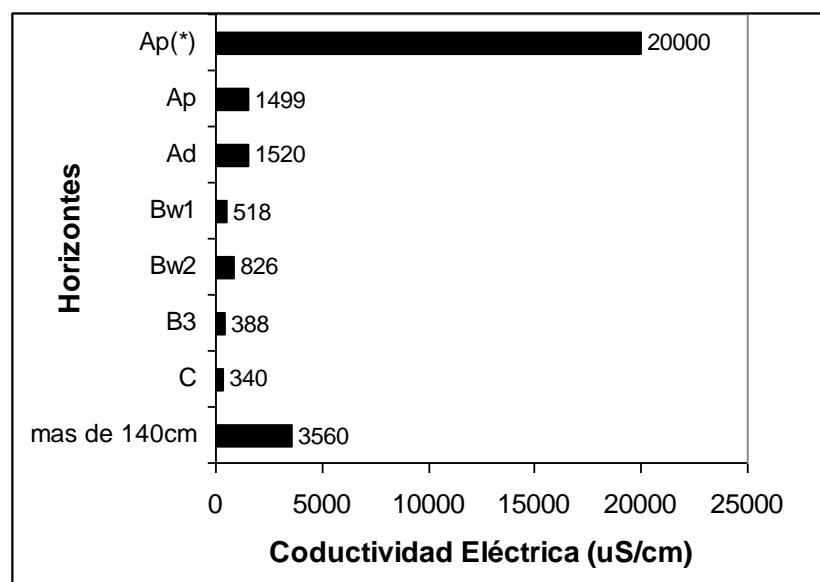
Las situaciones de LOMA y MEDIA LOMA mostraron una salinidad propia de suelos normales, por debajo de 0,5 dS/m, para los primeros 150 cm del perfil (Tabla 6), con lo cual no es de esperar limitaciones en el potencial osmótico del agua del suelo.

En la situación del BAJO la salinidad de los primeros cm de suelo fue muy variable (Figuras 17 y 18), entre 1 y más de 20 dS/m (Tabla 7), esta última salinidad estuvo evidenciada a través de manchoneos de suelo desnudo, en los cuales no hubo desarrollo del cultivo (Foto 2). Esta variación de la salinidad ya fue reportado por otros trabajos de investigación en la zona, en la cual la salinidad estuvo fuertemente influida por la cobertura vegetal y el microrelieve (Cisneros, 1994).





**Figura 17: Distribución de la salinidad del extracto saturado (medida como CE) en la situación de BAJO (con cobertura).**



**Figura 18: Distribución de la salinidad del extracto saturado (medida como CE) en la situación de BAJO (sin cobertura).**

Cuando se realizó el extracto saturado para obtener estos valores de conductividad eléctrica, para el caso de la loma el NF oscilaba en 255 cm y para el caso del bajo en 136 cm.

**Tabla 7: Variación de la salinidad de los suelos de LOMA y BAJO (medida como CE).**

<b>Situaciones del paisaje</b>	<b>Horizontes</b>	<b>Conductividad Eléctrica (dS/m)</b>
LOMA	Ap	1,12
	A2d	0,50
	BW	0,41
	BC	0,27
	C	0,35
	140-160cm	3,30
<b>BAJO</b>	Ap	1,49 – 20,20 (#)
	Ad	1,52
	BW1	0,51
	BW2	0,82
	B3	0,38
	C	0,34
	Mas de 140cm	3,56

(#) Para el caso del bajo se observó una gran variación de conductividad eléctrica en la superficie pasando de 1,49 dS/m a más de 20,02 dS/m.

Los datos indicarían que para las situaciones de LOMA y MEDIA LOMA con NF promedio por debajo de -180 cm, el NF se encontraría a una profundidad por debajo del nivel crítico, en razón de que el ascenso capilar no llega a acumular sales en los primeros cm de suelo. Resultados similares fueron reportados en un trabajo de Martini y Baigorri (2006).

Para la situación del BAJO, con una profundidad media del NF de -103 cm, por el contrario, la acumulación de sales en superficie mostraría que el NF estaría por encima o muy cercana al nivel crítico. Por otra parte durante el ciclo del cultivo se registró un período de 5 días de anegamiento, el cual ejerció una influencia adicional sobre el cultivo, sumada a la influencia osmótica de la salinidad.

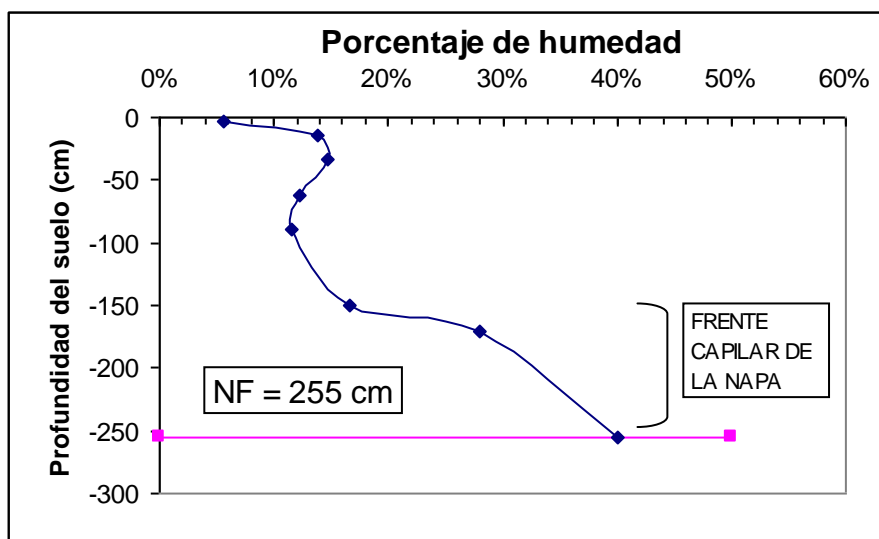
En cuanto a la tolerancia de la soja a la salinidad, Bresler *et al.* (1982) indican que el cultivo tiene un límite de tolerancia absoluto de 10 dS/m, con disminuciones de rendimiento a partir de 5 dS/m. Las situaciones analizadas indicarían que para LOMA y

MEDIA LOMA no existirían restricciones al rendimiento por salinidad del suelo.

Por el contrario para la situación del BAJO, es posible la existencia de períodos en los cuales la salinidad haya estado por encima del límite de tolerancia, ya que se registraron valores de 20 dS/m, en especial en el momento de siembra, lo que motivó la existencia de parches sin nacimiento de plántulas.

Esta gran variación de la salinidad del suelo en la situación BAJO se evidenció en los rendimientos del cultivo (este aspecto se retoma en el apartado de cultivo).

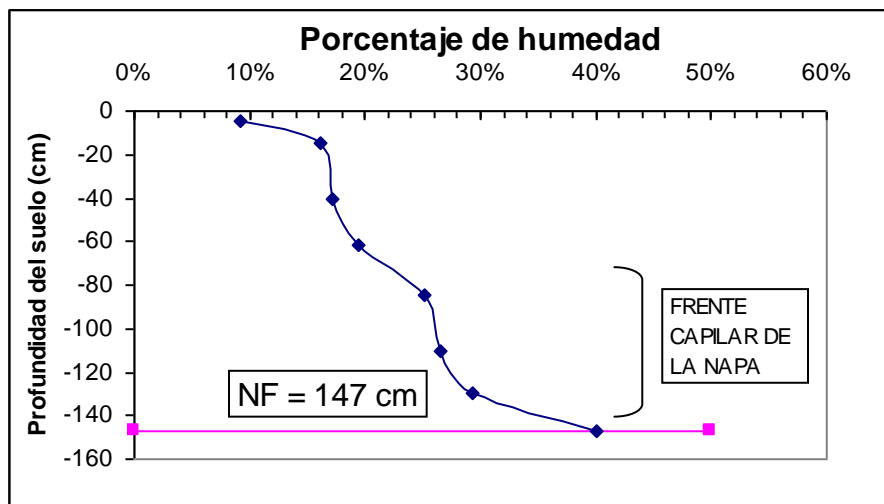
En cuanto a la variación de humedad del perfil en relación con la freática, los datos indicarían que el frente capilar tiene un espesor de entre 100 a 140 cm (Figuras 19 y 20), que es la distancia a la cual se produce un quiebre en la humedad del perfil (Foto 3). Similares resultados fueron reportados por USDA (1980), al analizar diferentes suelos para el desarrollo del modelo de simulación DRAINMOD, para diseño de sistemas de drenaje.



**Figura 19: Variación de la humedad del perfil de la LOMA, muestreado el 13/12/02 con indicación de la zona de influencia capilar del NF.**



**Foto 3: Aporte de humedad proveniente de las precipitaciones hasta los primeros 70 cm. de profundidad (flecha superior) y el ascenso capilar de la napa hasta 1, 20 m (flecha inferior).**



**Figura 20: Variación de la humedad del perfil del BAJO, muestreado el 13/12/02 con indicación de la zona de influencia capilar del NF.**

Estos datos son coherentes con la estimación realizada de la profundidad crítica cercana a 100 cm, ya que el suelo del bajo

mantuvo una profundidad cercana o superior a esta durante el ciclo del cultivo.

### **VI.3. Comportamiento del cultivo**

#### **V.3.1. Comportamiento general del cultivo**

En el ciclo de ensayo el cultivar tuvo un comportamiento agronómico adecuado, sin manifestar síntomas de enfermedades ni de estrés hídrico en ningún momento del ciclo. No presentó evidencias de ataques de plagas en general, que pusieran en riesgo el rendimiento, lo cual no requirió la aplicación de plaguicidas (Fotos 4 a 6).

#### **VI.3.2. Velocidad de profundización de raíces (VPR)**

La VPR de un cultivo puede ser evaluada en forma directa mediante el seguimiento a campo de la profundidad a la que se encuentra el ápice radical. Este proceso es sumamente dificultoso, por lo cual se han desarrollado para su estimación, métodos indirectos basados en mediciones de humedad de suelo bajo condiciones de sequía. La profundidad de raíces, medida en forma directa creciendo en suelos sin limitaciones físicas, muestra un patrón sigmoideo que alcanza la máxima profundidad cuando comienza el llenado de granos. La profundidad máxima que se observó en el cultivo ensayado llega aproximadamente a los dos metros. La velocidad de profundización de raíces en la etapa lineal de la curva resulta en aproximadamente 28 mm/día para soja (Dardanelli, 1998).



**Foto 4: Vista general del cultivo en la situación de LOMA.**



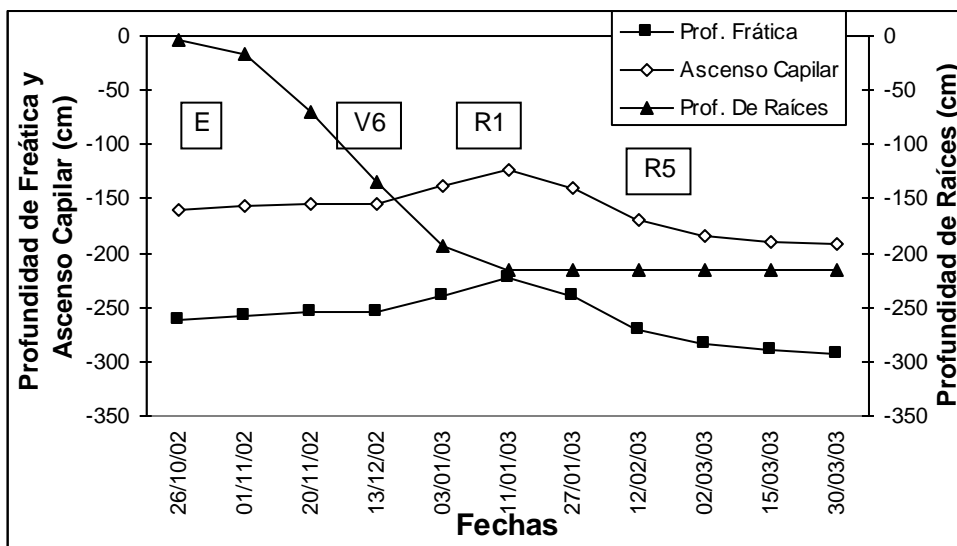
**Foto 5: Vista general del cultivo en la situación de MEDIA LOMA.**



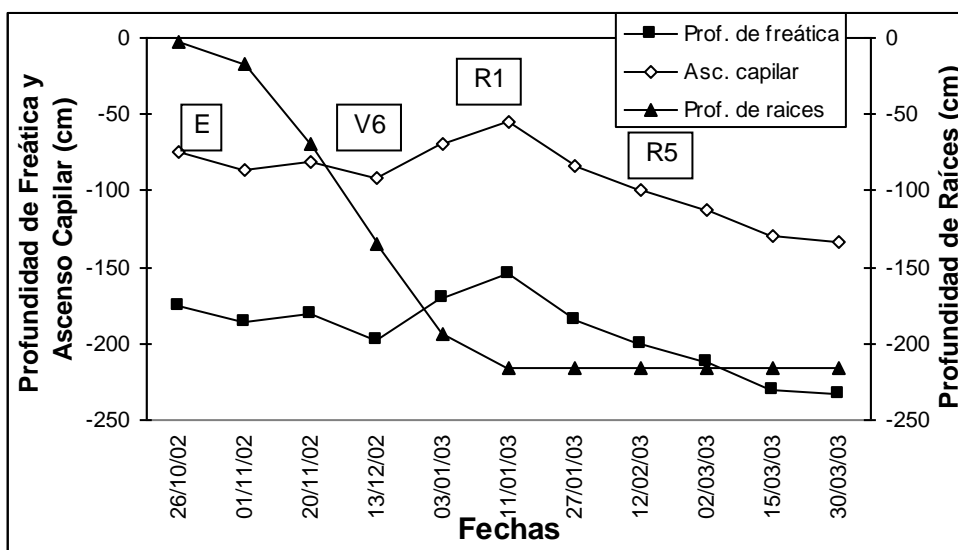
**Foto 6: Vista general del cultivo en la situación de BAJO.**

Asumiendo una profundidad media del freático para cada situación de paisaje como la que se indica en la Tabla 4, y considerando un frente capilar de 100 cm (Figuras 8 a 10), y tomando una velocidad de crecimiento de 28 mm/día, se puede concluir que, para la situación de LOMA las raíces habrían captado humedad de aporte de freática a los 60 días de emergencia aproximadamente coincidiendo con el estado fenológico R1 (Figura 21). Para la MEDIA LOMA habrían captado humedad de freática a los 30 días de emergencia (estado vegetativo, Figura 22). Para la situación BAJO las raíces tuvieron humedad del NF durante todo el ciclo del cultivo (Figura 23).

Teniendo en cuenta estos supuestos, se podría postular que para las tres situaciones en el periodo crítico del cultivo (máxima profundidad de raíces) todas pudieron captar humedad del NF.

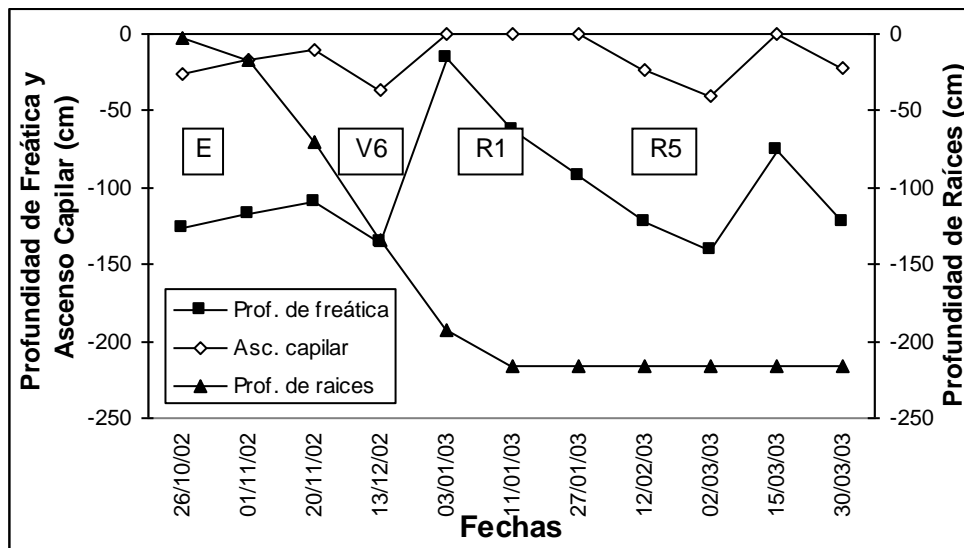


**Figura 21: Profundidad del NF, ascenso capilar y profundidad de raíces en los distintos estadios fenológicos para la situación de LOMA.**



**Figura 22: Profundidad del NF, ascenso capilar y profundidad de raíces en los distintos estadios fenológicos para la situación de MEDIA LOMA.**



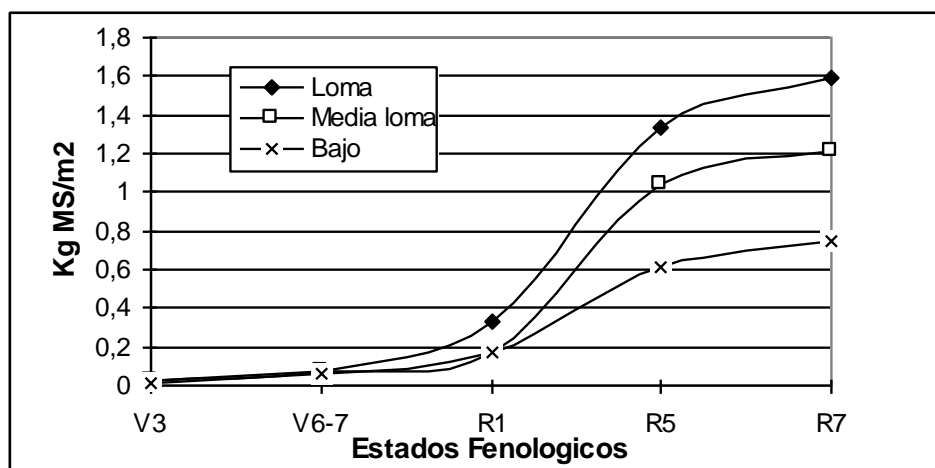


**Figura 23: Profundidad del NF, ascenso capilar y profundidad de raíces en los distintos estadios fenológicos para la situación de BAJO.**

### VI.3.3. Acumulación de biomasa

La acumulación de biomasa del cultivo (Figura 24) mostró diferencias significativas ( $P=0,05$ ) en el estadio V3 a favor de LOMA, sin diferir estadísticamente entre MEDIA LOMA Y BAJO (Tabla 8). En el estadio V6-V7 la acumulación de biomasa no arrojó diferencias entre posiciones. A partir de R1 comienzan a evidenciarse las diferencias entre LOMA y el resto de las situaciones, haciéndose altamente significativas entre las tres situaciones a partir de R5, en el orden LOMA > MEDIA LOMA > BAJO hasta el final del ciclo.

La dinámica de acumulación de biomasa durante el ciclo se indica en la Figura 24.



**Figura 24: Evolución de la biomasa del cultivo de soja para tres situaciones de profundidad de napa.**

**Tabla 8: Biomasa acumulada del cultivo de soja para tres situaciones de napa freática y profundidad media del NF para cada estado.**

Situación	Estado Fonológico	Materia seca (Kg/ha)	Profundidad media de la napa (cm)
Loma	V3 <b>a</b>	230	-257
	V6-7 <b>a</b>	716	-247
	R1 <b>a</b>	946	-244
	R5 <b>a</b>	1.333	-283
	R7 <b>a</b>	1.591	-290
Media Loma	V3 <b>a</b>	200	-180
	V6-7 <b>a</b>	750	-209
	R1 <b>b</b>	1.750	-201
	R5 <b>b</b>	1.040	-221
	R7 <b>b</b>	1.208	-230
Bajo	V3 <b>b</b>	150	-117
	V6-7 <b>a</b>	560	-75,5
	R1 <b>b</b>	660	-92,6
	R5 <b>c</b>	612	-108
	R7 <b>c</b>	744	-122

Letras diferentes comparando un mismo estado fenológico representa una diferencia significativa al nivel del 5 %.

La menor acumulación de biomasa aérea en BAJO se podría atribuir a condiciones más desfavorables a que estuvo sometido el cultivo durante el ciclo, probablemente asociadas a cortos períodos de anegamiento, y alto potencial osmótico del suelo, como lo reflejan los sectores de "parches" en los que el cultivo no tuvo desarrollo.

Para la situación MEDIA LOMA, no se cumple la hipótesis planteada de que esta sería la mejor situación desde el punto de vista hídrico, ya que si bien mostró un muy buen comportamiento del cultivo, no alcanzó el hallado en la situación LOMA, al menos para este ciclo climático.

Esta última situación mostró el mejor comportamiento en cuanto a acumulación de biomasa, debido a que en ella se conjugaron factores como: precipitaciones abundantes y oportunas durante el ciclo, un perfil bien drenado, bajas pérdidas por escurrimiento por una situación de relieve plano y un buen estado general del cultivo.

#### **VI.3.4. Producción de granos**

La producción de granos del cultivo mostró la misma tendencia que la acumulación de biomasa, encontrándose diferencias significativas entre las tres situaciones, en el orden LOMA > MEDIA LOMA > BAJO (Tabla 9 y Figura 25).

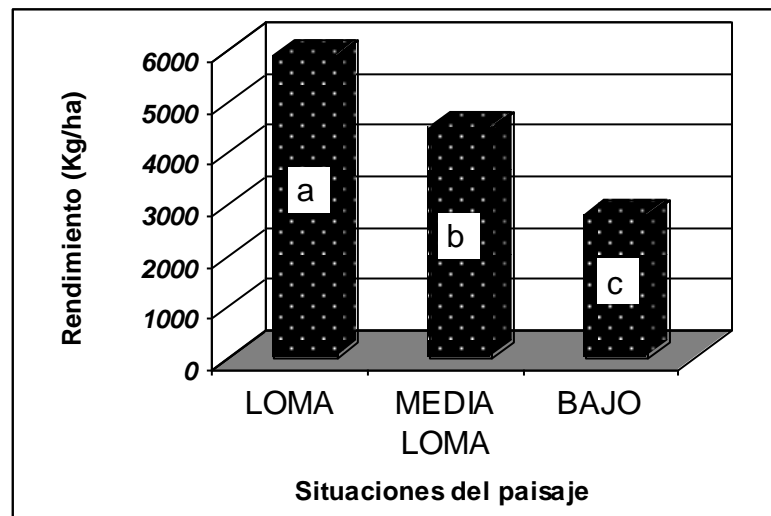
El rendimiento obtenido en la situación LOMA mostró una condición por encima de los rendimientos máximos obtenidos en la región en los ensayos de cultivares de soja (Baigorri, comunicación personal).

En la situación de MEDIA LOMA, los rendimientos se aproximaron a los máximos obtenidos en ensayos de rendimiento, no obstante fueron significativamente menores a los de la LOMA.

**Tabla 9: Componentes de rendimiento y producción de granos del cultivo de soja bajo tres situaciones de NF.**

Variables	SITUACION DEL PAISAJE		
	LOMA	MEDIA LOMA	BAJO
Plantas/m <sup>2</sup>	34	40	32
Nº de Chauchas/Planta	58.66	32.26	39.2
Nº Semillas/Chaucha	2.18	1.85	2.1
Peso de 1000 semillas (gr)	204,2	197,0	130,2
Producción de semillas (kg/ha)	5888.2 <b>a</b>	4469.7 <b>b</b>	2755.3 (*) <b>c</b>

(\*) Rendimiento muestreado en sitios con cultivo desarrollado, dentro del sector de muestreo se encontraron parches salinos, sin desarrollo de la planta. Letras diferentes comparando un mismo estado fenológico representa una diferencia significativa al nivel del 5 %.



**Figura 25: Rendimiento en granos del cultivo de soja para tres situaciones de napa freática (Las letras indican diferencias significativas al 5 %)**

La situación del BAJO, si bien permitió la obtención de rendimientos globalmente aceptables, tuvo un fuerte efecto de manchoneo, con parches sin desarrollo del cultivo por fallas en la emergencia por exceso de sales, lo cual indicaría que la

profundidad crítica del NF para este cultivo está entre 100 y 120 cm.

## **VII. DISCUSIÓN**

El comportamiento del cultivo de soja en la situación de LOMA mostró un comportamiento cercano al potencial del cultivo para esta zona (Martini y Baigorri, 2006), debido a un aporte suficiente de las precipitaciones y de la napa.

Tanto en las situaciones de LOMA y MEDIA LOMA la profundidad de napa permitiría aportar agua a las raíces, debido a la oscilación del frente capilar y a una baja salinidad del NF, compatible con los requerimientos de la soja (Bresler et al., 1982).

El grupo de madurez de soja medio a largo elegido se asoció adecuadamente a las condiciones ambientales de la LOMA y MEDIA LOMA.

El cultivo en la situación de MEDIA LOMA no habría logrado aprovechar tan eficientemente las condiciones ambientales, por lo que los rendimientos no mostraron la magnitud de los logrados en la LOMA.

La oscilación del frente capilar alrededor de 80 cm de profundidad en la MEDIA LOMA, si bien representaría un importante aporte hídrico, para estas condiciones pudo haber condicionado otros aspectos como la difusión de oxígeno, la disponibilidad de agua por potencial osmótico alto y una mayor incidencia de enfermedades y plagas en las raíces.

En las condiciones del BAJO el cultivo evidenció los problemas de napas cercanas a la profundidad crítica: acumulación de sales en superficie, condiciones de anoxia para las raíces, alto potencial osmótico en el agua del suelo y acumulación temporaria de agua en superficie. Si bien los rendimientos de esta situación corresponden a zonas o parches con el cultivo desarrollado, en otras zonas en un patrón irregular de manifestación, el cultivo no

se desarrolló, perdiéndose en su totalidad, por exceso de sales en superficie.

La información permitiría postular la existencia de un NF crítico entre 100 y 120 cm de profundidad, con casi total independencia de la salinidad del NF, en forma coincidente con otros estudios (Cisneros, 1994, Skaggs, 1980).

Estos resultados indicarían que para situaciones de lotes con NF alrededor o por encima de 1 m, sería inviable o altamente riesgoso la inclusión del cultivo de soja en la rotación. Por otra parte sería recomendable un seguimiento periódico de los NF en diferentes situaciones representativas del establecimiento para poder predecir los riesgos de anegamiento o salinización.

### **VIII. CONCLUSIONES**

- La freática constituyó una fuente de agua útil para el cultivo, sólo en las condiciones de LOMA y MEDIA LOMA. En el BAJO la oscilación de la napa produjo reducciones significativas de productividad. Para las condiciones estudiadas se produjo una relación inversa entre la profundidad del NF y la producción de soja.

- La profundidad crítica de la napa para las condiciones de suelo estudiadas y para el cultivo de soja, estaría entre 1 y 1,2 m, debido que en esas profundidades medias se observaron signos de salinización superficial del suelo.

## IX. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- BRESLER, E., MC NEAL B.L., CARTER, D.L. 1982. Saline and sodic soils. Principles, Dynamics, Modelling. Advances Series in Agricultural Sciences, 10. Springer Verlag, 236 pags.
- CANTERO, G., A., CANTU, M., CISNEROS, J.M., CANTERO, J.J. BLARASIN, M., DEGIOANNI, A., GONZALEZ, J., BECERRA, V., GIL, H., DE PRADA, J., DEGIOVANNI, S., CHOLAKY, C., VILLEGAS, M., CABRERA, A., ERIC, C. 1998. Las tierras y aguas del sur de Córdoba. Propuestas para un manejo sustentable. Universidad Nacional de Río Cuarto, 119 pags. ISBN 950-665-101-9.
- CISNEROS, J. M., CANTERO, J. J. and A. CANTERO G. 1997 Vegetation, soil hydrophysical properties, and grazing relationships in saline-sodic soils of Argentina. Canadian Journal of Soil Science 79: 399-409.
- CISNEROS, J. M., J. J. CANTERO, A. CANTERO G. 1997. Relaciones entre la fluctuación del nivel freático, su salinidad y el balance hídrico, en suelos salino-sódicos del centro de argentina. Rev. UNRC 17 (1): 23-35.
- CISNEROS, J., GIL, H., CANTERO, A., DEGIOANNI, A., REYNERO, M., CHIAPAROLI, A., PEREYRA, C., GEYMONAT, M., ISSALY, L., FREIRE, V., VIGLIOCCO, M. Y CHESTA, D. 2001. Propuesta de creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental: Cuenca media y baja del Río Quinto, canales asociados y lagunas interconectadas. Convenio UNRC – Dirección de Saneamiento y Obras Hidráulicas. Bs.As
- DARDANELLI J.L. 1998. Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranzas. En: J.L. Panigatti; H. Marelli; D. Buschiazzo y R. Gil (eds), Siembra Directa. INTA-SAGyP, pp. 107-115.
- JENSEN, R.A., MARAZZI, M., SAVIOLI, J., BREA, J. y H. TAVECCHIO. 2000 Diagnóstico de inundación en la región NE de La Pampa. Argentina. Informe técnico Danish Hydraulic Institute - Gobierno de la provincia de La Pampa.
- INTA - SMAGyRR. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Secretaría Ministerio de Agricultura Ganadería y Recursos Renovables. 1987. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Laboulaye. Córdoba.
- INTA, 2001. El cultivo de la soja. Editorial INTA.
- MARTINI, E. y BAIGORRI H.E.J. 2006. Manejo del cultivo de soja en suelos con influencia de napa freática. En [www.planetasoja.com/trabajos](http://www.planetasoja.com/trabajos)

- MILANESIO, A., CISNEROS, J. M., RANG, S., GIL, H. y A. DEGIOANNI. 1999. Propuesta de creación de distrito de ordenamiento ambiental para el área al sur de General Levalle - Curapaligue - Laboulaye. Informe de Becas para el Sector Productivo de Conicor.
- GIORDA, L.M., BAIGORRI, H.E.J. 1997. El cultivo de la soja en la Argentina. INTA.
- PAOLI, C., GIACOSA, R., BIANCHI, H., MAZZON, R., BERNAL, G., MACEDO, G., MONTAVERDE, C. y R. BRAVO. 2000. Estudios en el área de derrame del río Quinto y arroyos del sur de Córdoba. Informe Técnico. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. Ministerio de Infraestructura y Vivienda. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Argentina.
- PIZARRO, F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suleos salinos. Editorial Agrícola Española SA.
- RANG, S., CISNEROS, J., MILANESIO, A., GIL, H. Y A. DEGIOANNI. 1999. Propuesta de Creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área al Sur de Laboulaye - Rosales - Leguizamón. Informe de Becas para el Sector Productivo de Conicor.
- RUGGIERO, R. y H. CONTI. 1988. Síntesis climática. En "El deterioro del ambiente en la República Argentina". FECIC. Buenos Aires.
- TAYLOR, S. and G. ASHCROFT. 1972. Physical Edaphology. W. H. Freeman and Co. 533 pags.