



00361  
13  
2e

# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

Efecto de la salinidad edáfica sobre la distribución  
de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en dos variedades de Phaseolus  
vulgaris L. de diferente tolerancia a la salinidad,  
bajo condiciones de invernadero.

## TESIS DE GRADO

Que para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias  
( Biología )

p r e s e n t a

MIGUEL ORTIZ OLGUIN

México, D. F.

1987

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

	Pág.
RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	2
2. ANTECEDENTES	5
A. ASPECTOS GENERALES SOBRE LA SALINIDAD Y SODI- CIDAD DE LOS SUELOS	5
Definición de los suelos salinos y sódicos	5
Origen y características de los suelos salinos y sódicos	6
B. EFECTOS DE LA SALINIDAD SOBRE EL DESARROLLO VEGETAL	10
Efectos osmóticos	10
Efectos tóxicos	11
Efectos nutricionales	13
Efectos sobre el desarrollo	13
Efectos sobre el metabolismo celular	14
C. TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS A LA SALINIDAD	16
Adaptaciones de la planta al medio salino	19
D. LA RELACION $Na^+/K^+$ Y LA TOLERANCIA A LA SALINIDAD	20
Disponibilidad de $Na^+$ y $K^+$ para las plantas	20
La relación $Na^+/K^+$ y la tolerancia de las plantas a la salinidad	20
El papel del sodio en la plantas	23
Sustitución del potasio por el sodio	25
Cinética de la absorción de sodio y potasio	27
Movimiento de sodio y potasio al brote	30
Regulación del contenido de $Na^+$ y $K^+$ en el brote	31
Distribución y acumulación de $Na^+$ y $K^+$ en la planta	33
Distribución y acumulación de $Na^+$ y $K^+$ en la célula vegetal	37
Algunos aspectos relacionados con la acumulación de iones en el frijol	40
3. OBJETIVOS	42
4. METODOLOGIA	43
5. RESULTADOS	52
A. SUELO	52

	Pág.
B. TOLERANCIA	55
C. ACUMULACION DE SODIO Y POTASIO	58
Tallo	58
Pecíolos	64
Hojas	69
Raíz	74
6. DISCUSION	77
A. EFECTO DE LOS NIVELES DE SALINIDAD	77
B. EFECTOS DEL CAMBIO DE LA SALINIDAD EN EL ESPACIO	80
C. EFECTOS DEL CAMBIO DE LA SALINIDAD EN EL TIEMPO	81
7. CONCLUSIONES	83
8. BIBLIOGRAFIA	84
APENDICE I RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES	90
APENDICE II GRAFICAS	152
APENDICE III ANALISIS ESTADISTICO	201

## RESUMEN

Para evaluar el efecto de los cambios en la distribución de sales del suelo en el tiempo y en el espacio sobre el grado de acumulación de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) a nivel de invernadero, se utilizaron dos cultivares (Flor de Mayo y Negro 150) a los que se evaluó la tolerancia a la salinidad en base a rendimiento, y posteriormente se sometieron a una serie de tratamientos consistentes en variar el grado de salinidad total del suelo, en aumentar la salinidad del mismo durante el desarrollo vegetativo de las plantas, y en incrementar la salinidad de capa más profunda del suelo conforme las raíces se iban desarrollando. De cada uno de los tratamientos (20 en total) se tomó la rama más larga de cada planta, misma que se seccionó en un promedio de 18 entrenudos, 16 pecíolos y 16 láminas de la hoja, y a cada una de estas fracciones se les realizaron determinaciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en relación al peso fresco y al peso seco. Los resultados muestran que: 1) de las dos variedades utilizadas, la más tolerante a la salinidad es la variedad Flor de Mayo; 2) la distribución de sodio y potasio varía a lo largo de la planta, según la parte de la planta y las condiciones de salinidad del sustrato; 3) un incremento en la salinidad del suelo ocasiona un aumento en los contenidos de sodio de las raíces, tallo y pecíolos inferiores, en ese orden, y una disminución en el contenido de potasio de la raíz, cambios que son mayores en la variedad más tolerante; 4) los incrementos en la salinidad del suelo con la profundidad y con el tiempo disminuyen la retención del sodio en las raíces y entrenudos; 5) la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  varió a lo largo de la planta, pero tendió a ser mayor en la variedad menos tolerante, la variedad Negro 150.

## 1. INTRODUCCION

La salinidad del suelo constituye uno de los problemas más serios a los que se enfrenta la agricultura en nuestro planeta. La aparición de contenidos elevados de sales solubles en el suelo, y la potencial sodificación del mismo a consecuencia de ello, reduce notablemente la capacidad productiva de los suelos, debido a los efectos negativos que las sales ocasionan en el desarrollo vegetal. Este problema se presenta principalmente en las regiones áridas y semiáridas, en donde la precipitación no es suficiente para eliminar los excesos de sales que llegan al suelo, propiciando su acumulación, y puede agravarse en aquellos suelos abiertos al riego. En efecto, el uso de agua de mala calidad para el riego de cultivos agrícolas se ha constituido actualmente como la principal fuente de sales solubles, y es debido a ello que en México y en prácticamente todo el mundo existen fuertes problemas de salinidad y sodicidad en los suelos abiertos al riego. Estimaciones realizadas en la década pasada (Carter, 1975; Szabolcs, 1979), señalan que, de las aproximadamente 200 millones de hectáreas cultivadas bajo riego en todo el mundo, más del 25% presentan problemas de salinidad en mayor o menor grado. Si consideramos que de esos suelos se obtiene la mayor parte de los alimentos requeridos por una población cada día más numerosa, y que precisamente esos suelos son los que se encuentran sujetos a los procesos más rápidos de salinización, podemos afirmar que la salinidad del suelo es uno de los grandes problemas a los que se enfrenta la humanidad en el presente siglo, y por esta razón se hace prioritario el adoptar medidas tendientes a reducir la extensión de los suelos afectados por este problema.

La recuperación de los suelos salinos y sódicos es relativamente simple en teoría. En el caso de los suelos salinos, que presentan altos contenidos de sales solubles, se requiere efectuar lavados intensos que disuelvan las sales y las eliminen del suelo, por medio de un sistema de drenaje, o que por lo menos las desplacen a capas más profundas, fuera del alcance de las raíces de los cultivos. Los suelos sódicos representan un caso distinto: en estos suelos el principal problema es la existencia de altos contenidos de so

dio intercambiable, el cual no puede ser lavado debido a que se encuentra ad sorbido en la fase sólida del suelo, por lo que para poder eliminarlo se requiere de la aplicación al suelo de compuestos químicos conocidos como mejorados, los cuales aportan calcio soluble al suelo, el cual entonces puede desplazar al sodio intercambiable, pasándolo a un estado soluble y susceptible de ser lavado. Aún cuando los procesos anteriores son simples, su aplicación práctica se limita por la complejidad del suelo. Los suelos salinos y sódicos se presentan en sitios donde existen condiciones propicias para la acumulación de las sales, siendo las más importantes la presencia de una baja precipitación y la ubicación del suelo en sitios bajos del terreno, o en cuencas cerradas ca rentes de un drenaje natural, factores que impiden que las sales puedan ser lavadas naturalmente del suelo. La recuperación de los suelos salinos y só dicos implica el uso de grandes cantidades de agua, la cual debe ser de buena calidad, para disolver las sales, los mejoradores y eliminar al sodio extra ído. Sin embargo, por las condiciones mismas de su formación, los suelos sa linos y sódicos se encuentran generalmente en sitios donde el agua es un re curso sumamente escaso. Por otra parte, en el caso de que se obtenga el agua necesaria, se requiere de un sistema de drenaje para eliminar las sales y el sodio una vez lavados, drenaje que, también por las mismas condiciones de formación de estos suelos, no existe. La obtención del agua necesaria, la construcción del sistema de drenaje requerido y la compra de los mejorados que puedan ser necesarios representa un costo tal, que en muchos casos los terrenos agrícolas, una vez salinizados, son simplemente abandonados, con todos los problemas sociales, económicos, políticos y ecológicos que esto pueda ocasionar.

Debido a la dificultad que representa la recuperación de los suelos salinos, y a la necesidad de la población humana de extender la frontera agríco la, se ha planteado como alternativa al problema de la salinidad del suelo el tratar de adaptar cultivos a las condiciones de salinidad existentes en el sue lo. Una de las formas más comunes de lograr este objetivo es el efectuar cruzas genéticas intraespecíficas, interespecíficas o aún intergenéricas entre individuos de alta tolerancia a la salinidad, pero poco productivos, con individuos de baja tolerancia pero altamente productivos. Los resultados obteni

dos han sido halagadores en muchos casos, pero resulta obvio que la máxima tolerancia que pueda conferirse a cultivos esencialmente poco tolerantes nunca podrá ser muy alta. En realidad, la adaptación de un cultivo a las condiciones de salinidad del suelo requiere de un conocimiento profundo y completo sobre la relación entre el cultivo y las sales del suelo, y este conocimiento es, al presente, sumamente incompleto; por ejemplo, no se conocen aún los mecanismos precisos por los cuales los iones provenientes de la disociación de las sales provocan problemas de toxicidad en el metabolismo de las plantas, e igualmente desconocidos son la mayoría de los procesos metabólicos implicados en la resistencia a la salinidad en las halófitas. Es necesario tener un conocimiento completo sobre los mecanismos que forman parte de la interacción entre la planta y las sales del suelo, y sólo cuando lo tengamos podrá darse una solución efectiva al problema de la salinidad y sodicidad de los suelos.

## 2. ANTECEDENTES

### A. ASPECTOS GENERALES SOBRE LA SALINIDAD Y SODICIDAD DE LOS SUELOS

#### Definición de los suelos salinos y sódicos

La salinidad y la sodicidad del suelo son dos aspectos del suelo diferentes, pero íntimamente relacionados en su origen, y frecuentemente encontrados juntos, de modo que comúnmente se consideran dentro de un mismo concepto.

Los suelos salinos pueden ser definidos como suelos que poseen un exceso de sales solubles tal que afecta el desarrollo de los cultivos. Todos los suelos poseen siempre un cierto contenido de sales solubles, pero generalmente ese contenido no es suficiente como para interferir en el desarrollo vegetal. El grado de salinidad de los suelos, en función de su contenido de sales solubles, puede ser fácilmente estimado en forma de la conductividad eléctrica de un extracto de pasta de saturación del suelo. Si bien la cantidad de sales que puede afectar a un cultivo depende de varios factores, como son el cultivo mismo, el clima, o la textura y la fertilidad del suelo, generalmente se acepta un contenido de sales solubles en el suelo superior a 0.2% con respecto al peso seco del suelo, es suficiente para reducir el crecimiento de muchos cultivos, y esta concentración de sales, expresada en forma de conductividad eléctrica, representa un valor de 4 dS/m, a 25° C. Si bien frecuentemente se define a los suelos salinos con base a estos parámetros, debe recordarse que el valor de conductividad eléctrica mencionada se basa en la respuesta promedio a la salinidad de los cultivos considerados como más importantes, de modo que existen numerosas excepciones.

En el caso de los suelos sódicos, se trata de suelos que presentan, dentro de sus características más importantes, un alto contenido de sodio intercambiable. Este alto nivel de sodio intercambiable, originado por la apa-

rición en el suelo de una sal, el carbonato de sodio, tiende a ocasionar una dispersión de las partículas coloidales del suelo, de manera que en estos suelos se reduce el espacio poroso, y se reduce la permeabilidad, con lo que estos suelos presentan frecuentemente condiciones de empantanamiento. Este aspecto se une al alto pH imperante en estos suelos, a consecuencia de la hidrólisis del sodio intercambiable y del carbonato de sodio, de donde se forma hidróxido de sodio. El grado en el que se manifiestan estas características en el suelo también depende de varios factores, siendo los más importantes la textura y el nivel de salinidad del suelo; sin embargo, en la mayoría de los casos se observa que la dispersión de los coloides se produce cuando el porcentaje de sodio intercambiable de estos suelos es del orden de 15%. Debido a la dificultad de determinar directamente el porcentaje de sodio intercambiable de un suelo, la evaluación de este parámetro se efectúa utilizando ecuaciones empíricas basadas en la determinación de la relación de adsorción de sodio (Richards, 1954), de modo que los suelos sódicos también se pueden definir como aquellos que poseen una relación de adsorción de sodio (medida en el extracto de la pasta de saturación) mayor de 13, valor que corresponde al porcentaje de sodio intercambiable de 15.

Si bien la salinidad y la sodicidad pueden encontrarse por separado, los suelos sódicos se originan a partir de suelos salinos, de manera que es posible encontrar una etapa de transición entre ambos tipos de suelos, representada por los llamados suelos salino-sódicos. Estos suelos, que poseen al mismo tiempo grandes cantidades de sales solubles y de sodio intercambiable, generalmente presentan más bien las propiedades de un suelo salino, debido al efecto floculante conferido por las sales.

#### Origen y características de los suelos salinos y sódicos

El origen de los suelos salinos y/o sódicos no consiste simplemente en el incremento de los contenidos de sales solubles o sodio intercambiable de un suelo normal; en realidad, la aparición de la salinidad y la sodicidad en los suelos se dá a través del desarrollo de una serie de complejos proce-

sos pedogenéticos.

Si un suelo posee características que permitan la acumulación de sales, tales como el estar ubicado en una región con baja precipitación y alta evaporación, y el encontrarse situado en una parte baja del terreno, con drenaje deficiente, el suelo podrá sufrir un proceso de salinización, consistente en el incremento de sales solubles en por lo menos alguna capa del perfil. Normalmente, todos los suelos se encuentran recibiendo aportes de sales provenientes de distintas fuentes, tales como el intemperismo de las rocas; sin embargo, las sales que llegan a formarse *in situ* en un suelo son generalmente muy pocas como para ocasionar un problema de salinización; en realidad, el problema de la salinidad se presenta sólo cuando las sales originadas en grandes extensiones son lavadas por el agua, y posteriormente transportadas a algún suelo que presente características propicias para su acumulación. De este modo los suelos salinos vienen siendo depósitos que reciben sales que han sido acarreadas desde muy largas distancias. Por esta razón, las sales que constituyen al problema de la salinidad son aquellas que tienen la capacidad de permanecer en solución por mucho tiempo, como los cloruros y los sulfatos. Una vez incrementada la concentración de sales solubles en el suelo, éste se ha convertido en un suelo salino. La elevada concentración de sales en la fase soluble del suelo se refleja también en la fase intercambiable, ya que la abundancia de cationes nos lleva a una rápida saturación de los sitios de intercambio catiónico, si bien en esta etapa no existe dominancia de ningún catión intercambiable en particular. Si estas características se extienden por todo el perfil, el suelo puede identificarse como un solonchak.

Si bien en un principio el contenido de sodio intercambiable en un suelo salino no es muy elevado, con el tiempo esta situación tiende a cambiar. En primer lugar, la dominancia del sodio dentro de la fase soluble se manifiesta también en la fase intercambiable, debido al equilibrio físico-químico que existe entre ambas fases. Además, de acuerdo con los procesos que regulan el intercambio catiónico entre cationes de diferente valencia, al concentrarse la solución del suelo el sodio tiende a reemplazar a los cationes adsorbidos de mayor valencia, como el calcio. Y sobre todo, el principal proceso responsable del incremento del sodio intercambiable es la aparición de carbonato de

sodio en el suelo, el cual tiende a reaccionar con calcio adsorbido, dando como resultado sodio adsorbido y carbonato de calcio, el cual se precipita, impidiendo la reversibilidad de la reacción. Este proceso, conocido con el nombre de sodificación, alcalinización o solonchización, conduce a la formación de un suelo salino-sódico. En esta etapa, existe una alta concentración de sales solubles, sobre todo de sodio, y un dominio del sodio dentro de los cationes intercambiables. A esta etapa corresponde también la denominación de solonchak solonchizado.

La etapa representada por los suelos salino-sódicos tiende a ser la más estable y duradera en la formación de estos suelos; si no existe ningún cambio en las condiciones que llevaron a su origen, el suelo permanecerá en esta etapa largo tiempo. Sin embargo, es posible que por alguna causa natural o artificial un suelo salino-sódico se vea sometido a un lavado intenso. Este proceso, conocido con el nombre de desalinización, nos conduce a la formación de un suelo sódico. En este proceso, el exceso de sales solubles es eliminado del suelo, y este hecho acarrea grandes cambios. El más notorio consiste en que, una vez diluida la solución del suelo, el efecto floculante de los coloides del suelo producido por la alta concentración de sales se pierde, y el suelo se dispersa, a causa de la repulsión electrostática entre los coloides saturados de sodio. Con esto, disminuye el espacio poroso, y disminuyen también la conductividad hidráulica y la permeabilidad del suelo, creándose condiciones de inundación, anaerobiosis y reducción. Asimismo, la hidrólisis del sodio intercambiable y del carbonato de sodio producen hidróxido de sodio, el cual va a ser responsable de que en los suelos sódicos existan condiciones de alta alcalinidad, con valores de pH que pueden alcanzar hasta 10 ó 12. En esta etapa, la solución del suelo está diluida, mientras que el sodio incrementa su dominio entre los cationes intercambiables. Con el tiempo, se manifiestan cambios en la estructura del suelo, en los que el horizonte B tiende a desarrollar una estructura de tipo prismático, con la que el suelo puede identificarse como un solonetz.

El suelo sódico no constituye la última etapa en la pedogénesis de estos suelos; puede aún llevarse a cabo un proceso adicional. En el suelo só-

dico existe abundancia de sodio intercambiable, pero no de sodio soluble, el cual fué previamente lavado. El equilibrio de cationes entre las fases intercambiable y soluble ocasiona entonces que parte del sodio intercambiable pase al estado soluble. Sin embargo, al ocurrir esto, los sitios intercambiables que quedan libres al salir este sodio, pueden ser ocupados por el único catión que aún existe en cierta abundancia además del sodio: el hidrógeno derivado de la disociación de las moléculas de agua. Con esto aumenta el porcentaje de hidrógeno intercambiable. Si en esta etapa persisten las condiciones de lavado que llevaron a la aparición del suelo sódico, entonces el sodio recientemente liberado es lavado también; a este proceso se le dá el nombre de degradación o solotización del suelo, y su resultado es la formación de un suelo que puede presentar un pH ligeramente ácido, a causa de la gran cantidad de hidrógeno intercambiable, parte del cual pasa también a la fase soluble. A este tipo de suelos sódicos se les llama suelos sódicos degradados, y también se les conoce con el nombre de solodi.

El solodi constituye la última etapa en la formación de los suelos salinos y sódicos. Si un solodi recibe un aporte ligero de calcio, este calcio podrá reemplazar al hidrógeno y al sodio intercambiable restante, y producir un suelo normal, al menos en lo referente a la distribución de cationes.

## B. EFECTOS DE LA SALINIDAD Y SODICIDAD SOBRE EL DESARROLLO VEGETAL

La salinidad y sodicidad de los suelos ejercen diferentes tipos de efectos sobre el desarrollo de los cultivos. Asimismo, los efectos que la salinidad del suelo ocasiona en una planta son claramente distinguibles de los efectos ocasionados por la sodicidad del suelo. En general, los efectos de un suelo salino sobre la planta se deben a la acción directa que las sales o los iones producto de su disociación ocasionan en su desarrollo, mientras que en los suelos sódicos los efectos son más bien indirectos, debido a los cambios en algunas de las propiedades del suelo que son debidos a la presencia de un exceso de sodio intercambiable. Desde luego, en el caso de los suelos salino-sódicos todos estos efectos se van a estar manifestando simultáneamente, lo cual hace sumamente difícil en ocasiones el poder distinguir entre los distintos tipos de efectos. Los efectos que las sales ocasionan sobre el desarrollo de los cultivos son básicamente los efectos osmóticos y los efectos de iones específicos.

En cambio, los efectos ocasionados por un suelo sódico se deben sobre todo a la elevación del pH y a la pérdida de la permeabilidad y aereación del suelo.

### Efectos osmóticos

En los suelos salinos existe una elevada concentración de sales solubles, la cual ocasiona una disminución en el potencial osmótico del agua del suelo. En un suelo no salino, este potencial osmótico oscila normalmente entre  $-0.1$  y  $-0.2$  MPa, mientras que en los suelos salinos este valor es inferior a  $-0.2$ , pudiendo alcanzar valores de  $-5.0$  MPa, debido a la alta concentración de solutos (Stewart y Ahmad, 1983). Con la finalidad de que pueda darse un flujo neto del agua del suelo hacia el interior de la raíz, se requiere que los potenciales de agua de los tejidos de la raíz sean inferiores a los de la solución del suelo. Sin embargo, las glicófitas normalmente presentan potencia-

les de agua en sus tejidos del orden de  $-0.5$  a  $-2.0$  MPa (Richter, 1976), de tal manera que el potencial osmótico del agua de un suelo salino es generalmente inferior al del interior de la raíz, con lo cual la entrada de agua a ésta se ve reducida o inhibida por completo. Es a este proceso al que se conoce como el efecto osmótico, y como se ve, consiste en una inhibición en la capacidad de absorción de agua por parte de la raíz. La planta se ve sometida a un déficit de agua similar al que ocurre bajo condiciones de sequía, pero con la diferencia de que en este caso sí hay agua, pero la planta no la puede absorber, por lo cual a este proceso también se le denomina sequía fisiológica.

El efecto osmótico no depende de los distintos tipos de sales o iones presentes en solución, sino de la cantidad de solutos. Por esta razón, es el efecto que primero se manifiesta en las plantas que crecen en suelos salinos o salino-sódicos.

Es de esperar que los efectos osmóticos de suelos que tengan distintos tipos de sales, pero en concentraciones isoosmóticas, sean similares entre sí en cuanto a los efectos que ocasionen en la planta. Sin embargo, en los suelos que poseen concentraciones elevadas de ciertos tipos de sales, se presenta una depresión adicional en el crecimiento de la planta. Esta disminución en el crecimiento, que es mayor a la que cabría esperar con base a los efectos osmóticos, se atribuye a la absorción excesiva de un ión particular, y recibe el nombre de efecto de iones específicos. Los efectos de iones específicos son de dos tipos: tóxicos y nutricionales.

#### Efectos tóxicos

Los efectos tóxicos son debidos a la acumulación excesiva de algún ión específico en los tejidos, lo cual causa disturbios en el metabolismo que pueden conducir a diversas alteraciones en el desarrollo, o incluso a la muerte de la planta. Son poco conocidos los mecanismos por los cuales los distintos iones pueden afectar a la planta, aún cuando los efectos son evidentes. En el caso del ión cloruro, es frecuente que ocasione quemaduras en las hojas

de diversos cultivos sensibles, básicamente frutales, aunque no se ha podido establecer un cierto contenido mínimo de cloruro en los tejidos capaz de causar estos síntomas, ya que al parecer la manifestación de los daños depende de factores tales como la edad de la planta, el clima, o la fertilidad del suelo (Bernstein y Hayward, 1958). El caso del ión bicarbonato también es conocido, siendo responsable de la manifestación de síntomas de clorosis en muchas plantas. Sin embargo, el caso más importante es el del sodio, el cual es responsable de muy diversos síntomas de daños en la planta, que van desde clorosis y necrosis hasta malformaciones en el crecimiento de las distintas partes de la planta. En general, cuando se habla de tolerancia a la salinidad, se habla de tolerancia al sodio.

No son conocidos los mecanismos por lo cuales los distintos iones interfieren en el metabolismo de la planta. La opinión más aceptada se refiere a que los iones bloquean de alguna manera a los sitios activos de las enzimas o provocan cambios en su configuración tridimensional, de manera que ya no pueden reconocer a su sustrato. Esto puede afectar a la planta de dos maneras: impidiendo la síntesis de algún compuesto esencial para ella, o bien impidiendo la degradación de algún compuesto tóxico formado como un subproducto de alguna reacción metabólica. El primer caso podría ser la respuesta a la clorosis que frecuentemente se presenta en plantas que crecen en suelos salinos, al verse bloqueada la síntesis de alguno de los precursores de la clorofila, aún cuando no existe mucha evidencia al respecto. El segundo caso, en cambio, se refiere a que no serían los iones provenientes de las sales, sino algún producto derivado del metabolismo, el directamente responsable de la toxicidad. En relación a esto último, Strogonov (1964) señala como casos específicos que las concentraciones en los tejidos de compuestos fuertemente reductores, como el amonio, el peróxido de hidrógeno, la cadaverina y la putrescina (éstos últimos intermediarios en el metabolismo de los aminoácidos) aumenta varias veces cuando la concentración de sales en el suelo es elevada, e incluso, si alguno de estos compuestos se aplica a una planta creciendo en un suelo no salino, ésta desarrolla síntomas idénticos a los de la salinidad.

### Efectos nutricionales

En muchos casos, la absorción excesiva de ciertos iones ocasiona cambios en la absorción de nutrientes, probablemente por interferir con la permeabilidad de membranas (Campbell y Pitman, 1971). De este modo, la planta puede desarrollar deficiencias, aún cuando el nutriente en cuestión se encuentre disponible en el suelo. Dentro de los casos que se han observado, se incluye el del  $\text{Na}^+$ , que es capaz de disminuir la velocidad de absorción de  $\text{K}^+$ , el del  $\text{SO}_4^{=}$ , que disminuye la absorción de  $\text{HPO}_4^-$  y  $\text{Ca}^{++}$ , y el del ión  $\text{CL}^-$ , que disminuye la absorción de  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{HPO}_4^-$  y  $\text{NO}_3^-$  en varias plantas (Bernstein y Hayward, 1954; Levitt, 1982).

Independientemente de los efectos nutricionales debidos a iones específicos, los cultivos que se desarrollan en suelos salinos y sódicos pueden estar sujetos también a deficiencias debidas al efecto de algunas propiedades de estos suelos, como el alto pH, que disminuye la disponibilidad de algunos nutrientes, como el Fe.

### Efectos sobre el desarrollo

La manifestación de los efectos de la salinidad sobre la planta varía según la etapa de desarrollo, el órgano y la especie o variedad. Adicionalmente, otros factores del medio como el clima, la humedad del suelo o su fertilidad pueden hacer variar dichas manifestaciones.

En la etapa de germinación, la salinidad del suelo puede afectar a la semilla de dos formas; retardando o inhibiendo la germinación a causa del efecto negativo de la alta presión osmótica de la solución del suelo sobre la imbibición, o bien a través de un envenenamiento del embrión debido a la absorción excesiva de iones tóxicos. Se ha observado que, en general, en esta etapa los iones más tóxicos son los cloruros, seguidos por los sulfatos y con los carbonatos y bicarbonatos al final.

Durante el desarrollo vegetativo, los diferentes órganos de la planta

sufren también cambios distintos. Los tallos generalmente presentan una menor longitud, debida al menor desarrollo de los entrenudos; asimismo, son más delgados a causa del menor desarrollo de los tejidos conductores. Las hojas tienden a presentar un incremento en la succulencia del mesófilo, unido a una disminución en el área foliar y en el número de estomas, y un incremento en el grosor de la cutícula. Las raíces son más cortas y menos ramificadas, presentando asimismo un menor grosor debido comúnmente al menor desarrollo del parénquima cortical.

La producción de flores y frutos también se ve disminuída, aunque en ciertos casos la salinidad estimula, dentro de ciertos límites, el desarrollo de una mayor succulencia en los frutos.

#### Efectos sobre el metabolismo celular

Existen varias observaciones sobre los efectos que el exceso de sales produce en las reacciones metabólicas de la planta. Sin embargo, los efectos varían según el tipo de salinidad, y según la especie (Klin y Quatrano, 1975; Levitt, 1982).

Varias reacciones enzimáticas se ven alteradas por la salinidad; en el metabolismo del almidón, la actividad de la almidón-sintetasa se ve inhibida mientras que la deshidrogenasa málica, que degrada al almidón, se ve estimulada; tal efecto se presenta sobre todo en glicófitas, y es propiciado por iones monovalentes, ocasionando una reducción en las reservas de almidón. Las reservas de ATP también se reducen, debido a que al parecer el  $\text{Na}^+$  activa la acción de las ATP asasa. La síntesis de ADN y ARN también disminuye, y se ha observado el incremento en la actividad de la RNasa.

La respiración se ve en general afectada también por la salinidad; en las glicófitas disminuye, mientras que en las halófitas aumenta con la salinidad, hasta cierto grado. Se ha observado que los sulfatos son los más dañinos en este proceso.

Un proceso marcadamente afectado es la fotosíntesis; aún en halófitas se ve reducida por incrementos en el contenido de NaCl, habiéndose hallado a varias enzimas que se ven afectadas. Asimismo, disminuye el contenido de clorofila, y la exportación de los productos de la fotosíntesis se reduce. Igualmente, la entrada de  $\text{CO}_2$  se ve disminuida.

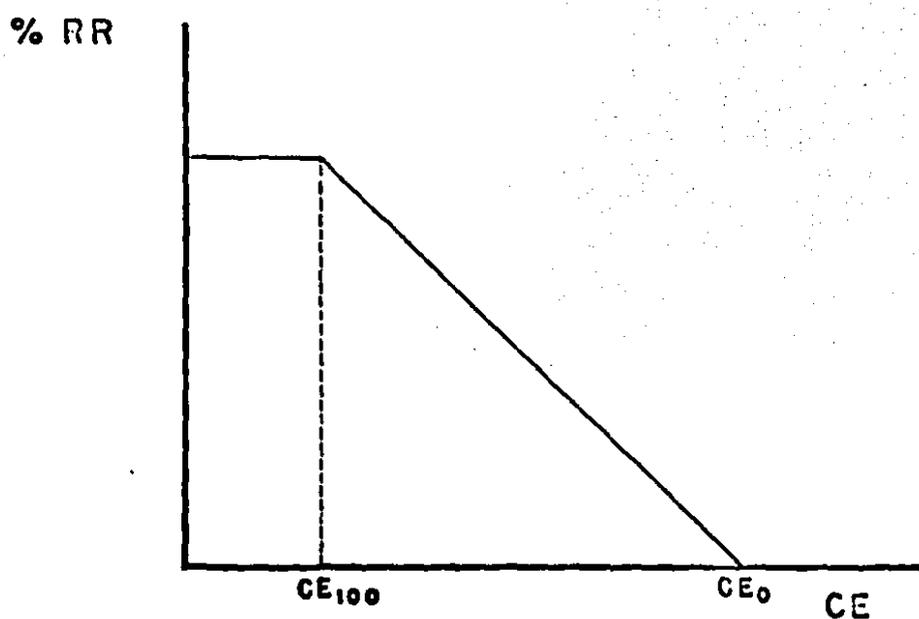
Otros procesos afectados incluyen a la permeabilidad de membranas, debido a que al parecer el  $\text{Na}^+$  afecta la estructura hidratada de proteínas membranales, y también se ha observado que, en el caso de reguladores del crecimiento, se dá una descomposición muy rápida de auxinas.

### C. TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS A LA SALINIDAD

Es muy variable la capacidad de desarrollo en suelos salinos que presentan diferentes especies. Algunas de ellas son capaces de crecer normalmente en suelos de alta salinidad, e incluso ven estimulado su desarrollo bajo esas condiciones; en cambio, existen plantas muy sensibles, que reducen fuertemente su crecimiento e incluso llegan a morir en condiciones de salinidad ligera. Desde un punto de vista estrictamente biológico, la tolerancia a la salinidad puede ser definida como la capacidad de una planta para desarrollarse y completar su ciclo bajo condiciones de salinidad. Sin embargo, desde un punto de vista agronómico, la tolerancia puede más bien definirse como la capacidad de un cultivo para desarrollarse y producir en suelos salinos cosechas que sean redituables económicamente. Conforme se incrementa la salinidad del suelo, el rendimiento de los cultivos se va reduciendo; sin embargo, esta reducción es más pronunciada en los cultivos menos tolerantes. Así mismo, existe siempre un rango en la salinidad del suelo dentro del cual el rendimiento de un cultivo se mantiene en un máximo. Puede de esta forma evaluarse la tolerancia de un cultivo a la salinidad en función del rendimiento de dicho cultivo en condiciones de cierta salinidad del suelo, comparado con el rendimiento que tendría el cultivo en un suelo no salino, asumiendo que el resto de los factores que influyen en la producción fueran óptimos. Este último criterio se refiere al rendimiento relativo. El rendimiento relativo (RR) de un cultivo desarrollado en un suelo con una conductividad eléctrica  $CE_s$ , y expresado como porcentaje, puede determinarse por la ecuación.

$$RR = \frac{100 (CE_0 - CE_s)}{CE_0 - CE_{100}}$$

en donde  $CE_0$  es el valor de conductividad eléctrica del suelo para el cual el rendimiento del cultivo se reduce a cero, y  $CE_{100}$  el valor máximo de conductividad eléctrica que permite aún un rendimiento de 100%. Para fines prácticos, la reducción del rendimiento de un cultivo en función de la salinidad del suelo puede considerarse como una respuesta lineal. Esto se representa en la gráfica 2.1, donde también quedan señalados los valores  $CE_{100}$  y  $CE_0$ :



Gráfica 2.1. Relación entre la CE del suelo y el rendimiento relativo de los cultivos.

En la tabla 2.1 se muestran los valores de  $CE_{100}$  y  $CE_0$  de algunos cultivos importantes.

Tabla 2.1. Valores de conductividad eléctrica en dS/m a los que pueden esperarse reducciones de 0% ( $CE_{100}$ ) y 100% ( $CE_0$ ) en el rendimiento de varios cultivos (Bernstein, 1964).

Cultivo	$CE_{100}$	$CE_0$
Frijol	1.0	6.3
Zanahoria	1.0	8.1
Cebolla	1.2	7.3
Lechuga	1.2	9.0
Papa	1.8	10.0
Maíz	2.0	10.0
Espinaca	2.0	15.0
Alfalfa	2.0	15.7
Tomate	2.5	12.6
Arroz	3.0	11.2
Soya	5.0	10.0
Trigo	6.0	20.0
Algodón	8.0	27.0
Remolacha	7.0	24.0
Cebada	8.0	28.0

## Adaptaciones de la planta al medio salino

La salinidad del suelo constituye una limitante para el desarrollo vegetal; aún las plantas más tolerantes, las halófitas, serían incapaces de desarrollarse en los suelos salinos si no fuera por la existencia de una serie de adaptaciones que permiten a las plantas disminuir los efectos negativos de una excesiva concentración de sales en el medio. Las adaptaciones que poseen las plantas a los suelos salinos pueden ser agrupadas en dos categorías: adaptaciones encaminadas a mantener baja la concentración de sales en el interior de la planta (resistencia a la salinidad), y adaptaciones encaminadas a soportar altas concentraciones de sales en el interior de la planta (tolerancia a la salinidad, en un sentido estricto).

Dentro de la primera categoría se incluyen básicamente cuatro tipos de adaptaciones: a) exclusión de sales a nivel radical, lo cual implica impermeabilidad en las membranas de las células de la rizodermis a ciertos iones, o exclusión activa de los mismos; b) retención de sales en la raíz o su retranslocación hacia la misma a partir del tallo; c) secreción activa de sales de las partes aéreas, a partir de la existencia de glándulas de sal, o a través de la caída de hojas saturadas de sal, y d) dilución de las sales presentes, lo cual conduce a la succulencia.

En la segunda categoría, las adaptaciones que dan a la planta una capacidad para soportar altas concentraciones de sales en su interior son básicamente tres: a) el ajuste osmótico (osmorregulación), consistente en el incremento de la concentración interna de solutos con el fin de disminuir el potencial osmótico de la planta y neutralizar así los efectos osmóticos, ya sea mediante la acumulación de iones inorgánicos o de compuestos orgánicos osmóticamente activos, como la betaína, prolina o el glicerol (Harborne, 1982; Paleg y Aspinall, 1981); b) presencia de enzimas resistentes a elevadas concentraciones de iones, o existencia de sistemas enzimáticos redundantes; y c) compartimentalización de los iones tóxicos en la vacuola, de modo que no interfieran con el metabolismo.

## D. LA RELACION $\text{Na}^+/\text{K}^+$ Y LA TOLERANCIA A LA SALINIDAD

### Disponibilidad de $\text{Na}^+$ y $\text{K}^+$ para las plantas

El sodio y el potasio son cationes que pueden ser hallados con abundancia en los suelos, especialmente en los de zonas áridas y semiáridas; se encuentran principalmente en forma soluble e intercambiable, debido a la elevada solubilidad de las sales que los contienen. Las concentraciones de potasio en la solución del suelo varían de 0.2 a 10 mM (de 1 a 2 mM en suelos agrícolas), mientras que las de sodio varían de 0.4 a 150 mM (< 20 mM en suelos agrícolas no salinos). De inmediato se nota que existe una amplia diferencia entre los contenidos de sodio y potasio disponibles en el suelo en forma soluble; frecuentemente el contenido de sodio es mucho mayor. Esta dominancia del sodio es atribuible a la influencia de las diferentes fuentes de sales que aportan constantemente sales de sodio a los suelos, resaltando dentro de ellas el uso de agua para riego de mala calidad en regiones de alta evaporación y baja precipitación, que conduce a la formación de suelos salinos y sódicos (ver Tabla 2.2).

Aún cuando en la generalidad de los casos la disponibilidad de sodio para las plantas es mayor que la de potasio, la mayoría de las plantas terrestres tienden a absorber y acumular mucho más potasio que sodio. Esto se debe al papel de macronutriente que posee el potasio; la única excepción la constituyen muchas halófitas, que llegan a acumular en sus tejidos grandes cantidades de sodio, el cual incluso es un micronutriente para muchas de ellas.

### La relación $\text{Na}^+/\text{K}^+$ y la tolerancia de las plantas a la salinidad

Cuando se evalúa la acumulación de iones en los tejidos vegetales, es importante distinguir entre la situación en la cual una planta es capaz de tolerar un alto contenido de sales en el suelo junto con un alto contenido de sales en sus tejidos, y la situación en la que una alta concentración de sales

en la planta es un síntoma de daños en la planta que pueden conducir a su muerte, o por lo menos a cambios fisiológicos que se traducen en disminuciones en el rendimiento. Esta última situación ocurre cuando el control radical de absorción de iones se pierde en un suelo salino, de modo que la absorción del agua del suelo junto con los iones que lleva en solución continúa llevándose a cabo a causa de la transpiración, depositándose en las hojas los iones así absorbidos; es por esto que frecuentemente los daños debidos a problemas de toxicidad inducidos por las sales se presentan primero en las hojas.

Las plantas que toleran grandes cantidades de sales en el suelo normalmente acumulan altas concentraciones de sales en sus hojas. Esto implica la existencia de mecanismos de resistencia a la salinidad a un nivel metabólico. De los diferentes iones que se pueden encontrar en suelos salinos, los más importantes son el cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y el sodio ( $\text{Na}^+$ ), siendo éste, con mucho, el más dañino de los dos (Bernstein y Hayward, 1958). Como regla general, se observa que las plantas más tolerantes a la salinidad dentro del grupo de las halófitas acumulan grandes cantidades de sodio en sus tejidos, relación con el potasio; es decir, poseen altas relaciones  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  principalmente en las hojas (Flowers y Läuchli, 1983). Lo contrario se observa con las glícófitas, que poseen bajas relaciones  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  generalmente inferiores a 1. De acuerdo con esto, sería de esperar la existencia de una relación directa entre los contenidos de sodio y potasio de los tejidos de una planta, y su grado de tolerancia a la salinidad. Sakazaki *et al.* (1954), basado en lo anterior, pudo acomodar a varias especies en una serie según su tolerancia a la salinidad y el valor de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  del siguiente modo: *Atriplex sp.* > *Beta sp.* > *Lycopersicon esculentum* > *Metasequoia sp.* > *Zea mays*, siendo *Atriplex sp.* la especie más tolerante y con más alta relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  y *Zea mays* la menos tolerante y con más baja relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . Desafortunadamente, no indica los tejidos a los que se evaluó el contenido de sodio y potasio, ni las variedades, pero es de esperar que la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  varíe según la parte de la planta, la variedad y otros factores tales como la etapa de desarrollo o las condiciones ambientales. Sin embargo, la relación entre el contenido  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  y la tolerancia de la planta a la salinidad llevaron a Takeda (1954) a clasificar a las plantas según su relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en tres grupos: euhalófitas, con valores de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$

Concentración en la litósfera (ppm)	28.3	25.9
Suelos minerales (% en forma de óxidos):		
Templados	0.01 - 1.0	0.1 - 4
Tropicales	0.01 - 0.5	0.1 - 2
Solución del suelo (mM)	0.4 - 150	0.2 - 10
Solución de suelos agrícolas (mM)	0.4 - 40	0.8 - 1.6
Agua marina (mM)	480	10
Aguas de riego (mM)	0.4 - 20	0.04 - 1.0
Tejidos vegetales (% del peso seco)		
Glicófitas	0.02 - 0.2	0.5 - 5.5
Halófitas	2.5 - 15.4	1.0 - 3.3

Tabla 2.2. Niveles de sodio y potasio en suelos, aguas y plantas. Mg modificado de Flowers y Laüchli (1983).

superiores a 1, oligohalófitas, con valores cercanos a 1, y no halófitas, con valores inferiores a 1. Por otra parte, Levitt (1972) señala que, de acuerdo a lo anterior, el valor de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en los tejidos de una planta puede usarse como un índice para evaluar su tolerancia a la salinidad.

#### El papel del potasio en la planta

Es un hecho bien establecido que el potasio es un macronutriente, un elemento esencial para las plantas; sin embargo, no han sido aislados compuestos que lo contengan, de manera que el potasio se encuentra completamente soluble en las plantas, aunque puede aparentemente combinarse con algunos compuestos orgánicos de varios sistemas enzimáticos, dentro de los que destaca el de la síntesis de almidón (almidón sintetasa), para cuya activación óptima se requiere que se produzcan ciertos cambios conformacionales de enzimas, o para mantener su estructura, lo cual puede tener que ver en la permeabilidad de membranas (Campbell y Pitman, 1971). Es muy probable que también juegue un papel en la translocación de productos de fotosíntesis, e interviene activamente en el mecanismo de apertura y cierre de estomas, en el que es su papel fisiológico más evidente.

El contenido de potasio en las plantas varía de 0.5 a 5.5% del peso seco (ver Tabla 2.2) con las raíces conteniendo alrededor de un 16%, y el tallo un 30% del total de potasio de la planta; la mayoría del potasio absorbido por las raíces es transportado al brote vía el xilema y el control de este transporte parece estar regulado por el crecimiento del brote (Pitman y Cran, 1977). La concentración de potasio en el xilema varía de 1 a 3-4 mM (Pitman, 1975). El potasio transportado al brote es móvil y puede ser retranslocado al floema, donde su concentración puede llegar a ser mayor de 100 mM.

#### El papel del sodio en la planta

El sodio no es considerado un macronutriente para ninguna planta, incluyendo a las halófitas. Sin embargo, se ha demostrado que es un micro

nutrientes para algunas de ellas, como *Atriplex vescaria*, de la que existe evidencia de un requerimiento mínimo de 0.1 me/l de sodio (Brownell, 1968), y *Halogeton glomeratus*; también parece ser que es requerido en bajas cantidades por algunas plantas con metabolismo C4 y CAM (Brownell, 1979), las cuales desarrollan lesiones cuando la concentración de sodio del medio es menor de 0.8 me/l (Brownell y Brossland, 1972). Su papel en el metabolismo no es conocido, aunque al parecer su deficiencia interfiere en la producción de CO<sub>2</sub> durante la glicólisis. La aparente dificultad en establecer si el sodio es o no un elemento esencial para una planta, estriba en el hecho de que el sodio es un elemento que se encuentra en el ambiente como un contaminante, de manera que es muy difícil el asegurar tener, aún en condiciones experimentales, un cultivo libre de sodio, además de que, considerando su papel como nutriente, el sodio presente en una semilla podría ser suficiente para el posterior desarrollo normal de una planta.

Independientemente de su papel como elemento esencial, el sodio resulta ser benéfico para el desarrollo de muchas plantas. Por ejemplo, concentraciones de hasta 1 me/l estimulan el crecimiento de *Lycopersicon esculentum*, una glicófita, y el de muchas halófitas, en particular las pertenecientes a la familia Chenopodiaceae, que muestran una respuesta significativa en peso seco a concentraciones de sodio superiores a los 40 me/l (Yeo y Flowers, 1980). Debe también ser mencionado que el sodio puede sustituir al potasio como nutriente bajo ciertas condiciones, como se detallará más adelante.

El contenido de sodio en las plantas varía mucho, dependiendo de si la planta es una halófito o una glicófita (Tabla 2.2); en las glicófitas, puede variar de 0.02 a 0.2%, mientras que en las halófitas varía de 2.5 a más de 15%; en general, las halófitas acumulan grandes cantidades de sales en sus tejidos, aunque muchas presentan una especial predilección por el sodio, por lo que se conocen con el nombre de plantas natrófilas (natron = sodio). En cambio, las glicófitas tienden a ser sensibles al sodio, y en muchos casos poseen mecanismos de exclusión del sodio; puede sugerirse que la tolerancia de las glicófitas a la salinidad es un reflejo de su habilidad para evitar la llegada del sodio al brote (Greenway y Munns, 1980). El sodio tiende a ser menos móvil que el potasio, pero su movimiento en el floema parece jugar un impor

tante papel en mantener baja su concentración en el brote (Jacoby, 1979), por lo que este movimiento en el floema se ha relacionado con la tolerancia a la salinidad.

#### Sustitución del potasio por el sodio

Es muy conocido el hecho de que el potasio puede, bajo ciertas circunstancias, ser reemplazado en sus funciones por el sodio, al grado de que muchos casos de deficiencia de potasio pueden ser aliviados mediante un aporte de sodio a la planta. Lo anterior no es universal, sino que la capacidad de sodio para reemplazar al potasio depende, en definitiva, de la especie particular de que se trate. Han sido reconocidas cuatro categorías de plantas según su respuesta al sodio, en relación con la disponibilidad de potasio (Flowers y Lauchli, 1983); la primera categoría incluye plantas que no responden positivamente al sodio, ya sea que el potasio esté presente o no en adecuada proporción, como ocurre con el maíz, el frijol, la lechuga, la cebolla, la papa o la espinaca. La segunda categoría incluye plantas cuyo crecimiento se ve claramente incrementando cuando se ven sujetas a un aporte de sodio, bajo condiciones de deficiencia de potasio; tal es el caso del tomate, centeno, mostaza y avena. La tercera categoría comprende especies que responden sólo ligeramente al sodio, aún con un aporte adecuado de potasio, como en el caso del trigo y el algodón, y la cuarta categoría agrupa a plantas que responden fuertemente al sodio, aún con un aporte adecuado de potasio, como la remolacha y el apio. Un aspecto que se ha hecho aparente es que las plantas que responden más al sodio son aquellas que absorben grandes cantidades de sodio, el cual posteriormente es transportado a las partes aéreas.

Se han encontrado grandes variaciones en el valor de la relación  $\frac{Na^+}{K^+}$  en diferentes especies vegetales. Colander (1941) encontró que esta relación tenía un valor de 2.32 en el brote de *Atriplex hortense*, mientras que en *Zea mays*, valía 0.02. También se observa que si el potasio y el sodio son aportados en cantidades iguales, mientras más sodio es absorbido y translocado al brote, mayor es su reemplazamiento del potasio (Larson y Pierre, 1953); si bien es posible encontrar diferencias entre especies a nivel de su acumulación de sodio en la raíz, las diferencias son más pronunciadas durante la trans-

locación a los tallos; plantas más tolerantes a la salinidad, como la remolacha, translocan rápidamente el sodio al tallo, ocurriendo lo contrario con plantas menos tolerantes, como el maíz. Debido a esto, puede considerarse que las diferencias en la acumulación de sodio en el tallo pueden ser decisivas para distinguir a especies en las que el sodio reemplaza al potasio en diferentes grados.

El reemplazo del potasio por sodio puede darse en varias funciones y procesos metabólicos en la planta. En el caso del potasio que se encuentra en el interior de la vacuola, el papel de este potasio es puramente osmótico, contribuyendo a mantener el potencial de solutos y por lo tanto, la turgencia de la planta. Esta es una función no específica que puede ser llevada a cabo por varios iones orgánicos e inorgánicos, y en la que el sodio bien puede reemplazar al potasio, en el caso de que éste fuera requerido para desarrollar alguna otra función más específica dentro de la célula, o en otras partes de la planta. En *Zea mays*, esto ocurre también a nivel de la raíz, donde el sodio se acumula y pasa a ocupar el papel osmótico, mientras que el potasio es translocado al brote.

En funciones específicas a nivel enzimático, el papel del potasio depende en gran medida de su carga y grado de hidratación, lo que puede influir en la estabilización de la estructura de enzimas. En muchos casos se ha demostrado que el sodio no es capaz de reemplazar al potasio en este papel, para numerosos sistemas enzimáticos (Marschner, 1971). Excepciones notables son, sin embargo, el caso de la deshidrogenasa málica en *Suaeda maritima* (Flowers, et al, 1977), en cuya activación el sodio es tan efectivo como el potasio, y el de la ATPasa de remolacha, para cuya máxima actividad se requiere de un cierto contenido de sodio, además del potasio; es posible que en este último caso esto se deba a la presencia de isoenzimas, algunas activadas por sodio, y otras por potasio (Marschner, 1971).

Existen otras funciones menos específicas en las que existe evidencia de una sustitución del potasio por sodio. Una de estas es el papel que desempeña el potasio durante la apertura y cierre de los estomas, que es un papel osmótico pero en el que existe permeabilidad específica para el potasio

en las células estomáticas. En algunos casos en *Commelina communis*, el sodio puede reemplazar al potasio en la inducción de la apertura estomatal, y es incluso más efectivo. También se ha propuesto que el potasio actúa como un ión compensador de aniones orgánicos e inorgánicos, papel que podría desempeñar el sodio (Dujkshoorn et al, 1968).

Debe señalarse que un posible efecto en aliviar alguna deficiencia de potasio en una planta al añadir sodio podría no deberse a sustitución de potasio por sodio, en la planta, sino al intercambio de sodio por potasio en el suelo, quedando entonces este disponible para la planta.

#### Cinética de la absorción de sodio y potasio

Si se determina el contenido de algún nutriente en la célula vegetal lo más factible es que se encuentre que la concentración de ese nutriente en el interior de la célula es mucho mayor que su concentración en la solución del suelo. El hecho de que las concentraciones intracelulares de iones inorgánicos sean más elevadas que las encontradas en el suelo indica dos aspectos fundamentales: primero, existe un alto nivel de impermeabilidad de las membranas celulares, que permite mantener esa desigualdad entre las concentraciones intracelular y extracelular, y, segundo, como los iones en cuestión deben ser obtenidos del suelo, deben existir mecanismos de transporte que introduzcan a los iones, a través de las membranas relativamente impermeables de las células; este transporte, en contra de un gradiente de concentración implica desde luego un gasto energético por parte de la célula, y debe ser selectivo, ya que es común observar que la mayoría de las plantas terrestres, por ejemplo, acumulan más potasio que sodio, aunque éste abunde más que aquél en el suelo.

El transporte de iones a través de la membrana celular que implica un gasto energético, y que se conoce comúnmente como transporte activo, se ha asociado al concepto de los "transportadores", enzimas capaces de tomar un ión extracelular y transportarlo a través de la membrana, para liberarlo posteriormente en el interior de la célula. Considerando este aspecto, del que existen numerosos modelos, Epstein y Hagen (1952) ligaron el concepto del

transporte de iones al de la catálisis de un sustrato por medio de una enzima, ya que durante el proceso de transporte, los iones ocuparían temporalmente un número finito de sitios activos en el agente transportador, fuera una enzima o no.

El transporte de iones, entonces, podría esperarse que siguiera un comportamiento del tipo de la cinética de Michaelis-Menten, en donde la tasa de transporte del ión  $v$  estaría dada por:

$$v = \frac{V_{\max} \cdot C_s}{K_m + C_s}$$

donde  $V_{\max}$  es la tasa máxima de transporte,  $C_s$  la concentración del ión (sustrato) en el medio, y  $K_m$  la constante de Michaelis, que es la concentración del ión que da la mitad de la máxima tasa de transporte. Sin embargo, pronto se reconoció que la absorción de iones tenía una diferencia muy importante con respecto a la cinética Michaelis-Menten: a diferencia de ésta, la absorción de iones no se satura, aún en concentraciones iónicas muy elevadas (Hodges, 1973). Graficando datos de velocidad de absorción contra concentración iónica, se obtiene una serie de líneas curvas, en lugar de la línea recta predicha por Michaelis-Menten; estos resultados se interpretaron como una indicación de que existen dos sitios o dos mecanismos transportadores diferentes (I y II) para el transporte de un mismo ión; el primero de ellos (I), posee una alta afinidad por el ión, y es funcional cuando la concentración externa del ión es baja, y el segundo (II) tiene una baja afinidad por el ión, pero se activa a altas concentraciones externas. Posteriormente (Epstein, 1972), se demostró que el mecanismo I sí se satura y sigue la cinética de Michaelis-Menten; este mecanismo funciona en el rango de 0-1 mM, y en el caso de la cebada, el valor de la  $K_m$  para la absorción de potasio es de 0.01 mM, y el valor  $V_{\max}$  es de cerca de 10 moles/g de peso fresco/hora. En cambio, el mecanismo II trabaja en el rango de 1-50 mM, y en él no ocurre una verdadera saturación; además, la curva resultante, conocida como "isoterma de absorción", no es una curva homogénea, sino que consiste de varios segmentos de comportamientos similares, con puntos de inflexión entre ellos (ver figura 2.2), que señalan la

existencia de varios sitios activos con diferentes afinidades en el mecanismo II.

La cinética de la absorción de sodio y potasio muestra algunos aspectos interesantes en varias de las especies que han sido estudiadas, en relación con el problema de la salinidad del suelo. El mecanismo I tiende a ser bastante específico para el ión  $K^+$ , aunque también muestra afinidad por los iones  $Cl^-$ , en presencia de calcio. Sin embargo, no tiene afinidad alguna por el  $Na^+$ , aún cuando éste se encuentre en la misma concentración que el  $K^+$ , lo cual ha sido demostrado en raíces de cebada (Epstein y Rains, 1965; Rains y Epstein, 1967). Por otra parte, el mecanismo II resulta ser bastante diferente, pues tiene mayor afinidad por el  $Na^+$  que por el  $K^+$ , o por lo menos su afinidad por el  $K^+$  es menor que la del mecanismo I.

El comportamiento de los mecanismos I y II tiende a ser similar en muchas especies. Sin embargo, en una comparación entre dos especies de *Agropyron*, una de ellas muy tolerante a la salinidad, *A. elongatum*, y la otra especie sensible, la baja afinidad para el  $Na^+$  en el mecanismo I era mucho más pronunciada que en la especie tolerante, mientras que en el mecanismo II, la especie sensible absorbía  $K^+$  preferencialmente, mientras que la especie tolerante tenía alta afinidad tanto por el  $K^+$  como por el  $Na^+$ .

Puede concluirse de lo anterior que es necesario que plantas que estén expuestas a bajas concentraciones de  $K^+$  en el suelo, deben poseer algún mecanismo específico de absorción de  $K^+$ ; de otro modo, no podrían tomar el  $K^+$  necesario a causa de la competencia del  $Na^+$ . Este mecanismo es el I, y parece ser más específico en especies de baja tolerancia a la salinidad. Por otra parte, la existencia de condiciones de elevada concentración de sales de sodio en el suelo implica la presencia de un alto contenido de iones en el interior de la planta, para poder mantener el potencial osmótico intracelular requerido para minimizar los efectos osmóticos; puesto que en muchas especies tolerantes a la salinidad esto se consigue acumulando iones de sodio en la vacuola, el mecanismo II proveería de los iones  $Na^+$  necesarios para ese papel.

### Movimiento de sodio y potasio al brote

Ha sido observado en varios casos que los contenidos de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en el brote pueden relacionarse al peso del mismo, durante el desarrollo de la planta (Pitman y Cram, 1977). Además, los contenidos de  $\text{Na}^+$  con relación al  $\text{K}^+$  en el tallo y la raíz tienden a mantenerse relativamente constantes en el tiempo. Por ejemplo, en el caso de la mostaza (*Sinapsis alba*), Pitman (1966) encontró que la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  se mantenía constante durante un período de 11 días, siendo de  $0.40 \pm 0.01$  para el tallo y  $0.20 \pm 0.03$  para la raíz. La constancia en esta relación durante el tiempo muestra que existe un transporte equilibrado de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  al tallo, relacionado con el peso de la raíz. También se ha podido observar que las tasas de transporte de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  al tallo tienden a variar conforme aumenta el peso de la raíz, pero se mantienen constantes con respecto al peso del tallo, de tal modo que parece ser que el transporte de estos iones (y probablemente de otros iones monovalentes) es un proceso que está controlado por el crecimiento del tallo, de manera que la concentración de los iones en el tallo queda determinada por la tasa de transporte de iones al tallo, y por su tasa de crecimiento. Incluso, en el caso de *Sinapsis alba*, las variaciones en la concentración externa de iones no influyen en la tasa de transporte de iones al tallo, ya que pudiera pensarse que al aumentar la concentración externa se daría una mayor acumulación de iones en las hojas como parte de un mecanismo de ajuste osmótico (Pitman y Cram, 1977).

Si bien la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  tiende a mantenerse constante en el brote durante largos períodos del desarrollo de la planta, no ocurre lo mismo para órganos individuales. En el caso de las hojas, la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  tiende a ser más baja en las hojas jóvenes, que en las hojas maduras (Fig. 2.3).

Para explicar esto debe recordarse que el aporte de iones al brote y a hojas maduras es vía el xilema, mientras que en las hojas jóvenes es primariamente el floema, debido a el bajo nivel de transpiración que presentan. El floema transporta preferentemente  $\text{K}^+$  y no  $\text{Na}^+$ , de modo que las hojas jóvenes reciben mayor contenido de potasio, resultando su relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$

menor que el valor promedio para el brote. En etapas posteriores del desarrollo de la hoja, el potasio tiende a ser exportado vía el floema, y con la llegada de sodio vía el xilema, se tiende a aumentar la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . Esta retranslocación del potasio es mayor que la del sodio, casi en un 80% (Pitman y Cram, 1977), de modo que es común que el contenido total de  $\text{K}^+$  en las hojas tiende a decrecer con el tiempo.

También se observan relaciones  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  más bajas que el promedio del brote en muchas semillas, donde el aprovisionamiento de nutrientes es básicamente el floema. Sin embargo, una excepción a la regla de que el floema no transporta  $\text{Na}^+$  es el caso de *Phaseolus vulgaris*, el cual tiende a exportar el sodio de las hojas hacia las raíces vía floema (Marschner, 1974; Wignarajah et al, 1975).

En el caso de las halófitas, la acumulación de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en el brote tiende a ser elevada, aún cuando se desarrollen en medios de baja salinidad; sin embargo, el contenido de iones en la savia del xilema es baja, al igual que la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . Una comparación de dos halófitas, *Aeluropus litoralis* y *Atriplex halimus* realizada por Waisel (1972) mostró que para ambas especies, un incremento en la salinidad del medio aumentaba el contenido de sodio en el xilema, mientras que no influía en el contenido de  $\text{K}^+$  en *Aeluropus*, pero sí en *Atriplex*, disminuyéndolo (ver Tabla 2.3); asimismo, el valor de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  para condiciones de baja salinidad resultó muy similar para ambas especies, pero en alta salinidad, este valor en *Aeluropus* fué el doble del valor observado en *Atriplex*. Los mayores contenidos de sodio transportado en el xilema seguramente responden a la necesidad de iones para realizar el ajuste osmótico en condiciones de alta salinidad.

Regulación del contenido de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en el brote.

Si una solución se moviera libremente de la raíz al brote, acumulándose en éste las sales transportadas en dicha solución, la concentración de sales en el brote sería de 30 a 70 veces mayor que en la solución del suelo (Munns et al, 1983). La realidad es que tal concentración supera a la del suelo en sólo dos o tres veces. Esto quiere decir que existen mecanismos que

restringen el movimiento de sales al tallo, así como el movimiento de sales del tallo hacia la raíz. La concentración de  $\text{Na}^+$  en el brote depende básicamente de tres procesos: primero, la entrada del  $\text{Na}^+$  al xilema de la raíz; en este proceso, la endodermis constituye la principal barrera al flujo de  $\text{Na}^+$ , aunque a pesar de ello, es frecuente la entrada de cantidades masivas de  $\text{Na}^+$ , especialmente bajo condiciones de alta salinidad. Un segundo proceso es la remoción de  $\text{Na}^+$  del xilema de la raíz, básicamente a través de mecanismos de transporte activo. Esto se ha observado en frijol, donde el  $\text{Na}^+$  del xilema de raíces y tallos es removido a través de células de transferencia del xilema (Jacoby, 1965; Kramer et al, 1977), ocurriendo que del sodio en cuestión al menos parte es exportado hasta la solución externa; esto no ocurre en halófitas, donde la concentración de  $\text{Na}^+$  en las hojas tiende a ser similar a la del xilema de la raíz (Munns et al, 1983).

El tercer proceso que regula el contenido de  $\text{Na}^+$  en el brote consiste en la eliminación de  $\text{Na}^+$  del brote, a través del transporte activo vía glándulas de sal, hacia el medio, o bien por medio de su movimiento en el floema regresándolo a la raíz. En la mayoría de especies no se ha encontrado este sistema de exportación de  $\text{Na}^+$  en el floema, excepto en *Phaseolus vulgaris* (Pitman y Cram, 1977), y en *Trifolium alexandrinum*, donde las células del floema tienden a aumentar el valor de su relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  cuando se dá un incremento en la concentración externa de NaCl (Winter y Preston, 1982). En cambio, tiende a presentarse una mayor exportación de  $\text{K}^+$  de las hojas de muchos cultivos; uno de estos casos es la cebada, donde el potasio sale de las hojas en una cantidad casi 10 veces superior que el sodio (0.14 mM/g/día contra 0.019 mM/g/día, respectivamente; Greenway y Munns, 1980). También existe selectividad del  $\text{K}^+$  sobre el  $\text{Na}^+$  en la transpiración del xilema al floema en tallos de bajo contenido de  $\text{Na}^+$ ; en sauces, la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en el xilema es 1.6, en los tejidos de la hoja vale 3.3 y en el exudado del floema, 0.2-0.18 (Hoad y Peel, 1965). La baja relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en el floema puede deberse a una mayor selectividad en el transporte de  $\text{K}^+$  al floema, o bien a una menor relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en el citoplasma que en la vacuola de las células del mesófilo de la hoja (donde el  $\text{Na}^+$  quedaría retenido). Estos aspectos indican que tanto en la raíz como en el tallo, debe existir una regulación de la concentración

de la suma de ( $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) más que de las concentraciones separadas de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ .

Una evidencia conocida de la regulación de la concentración de ( $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ ) fué obtenida con cebada (*Hordeum*) y con mostaza (*Sinapsis*) por Pitman (1965; 1966). Ambos cultivos, creciendo en soluciones con una relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  constante de 3.0, fueron sometidos a cambios; en la concentración total de ( $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ ), que variaron de 10 a 80 mM; en ambos casos, la concentración de ( $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ ) en el brote permaneció constante, aunque las mayores concentraciones de ( $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ ) en la solución externa ocasionaron un aumento en el valor de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  del brote, de 0.2 a 0.4. Esto puede explicarse de dos maneras; primero, si un transporte pasivo y substancial de  $\text{Na}^+$  al brote se combina con una regulación de la concentración de ( $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ ) de la siguiente forma: transporte pasivo de  $\text{Na}^+$  → aumento del  $\text{Na}^+$  del brote → reemplazo de  $\text{K}^+$  por  $\text{Na}^+$  en las vacuolas → alta concentración de  $\text{K}^+$  en el citoplasma → exportación de  $\text{K}^+$  en el floema → señal a las raíces para reducir la absorción de  $\text{K}^+$  (Greeway y Munns, 1980). La otra explicación se basa en considerar que el transporte de ( $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) al brote eventualmente se satura, y que un rápido flujo de masas de  $\text{Na}^+$  a través de la corteza de la raíz resulta en altas relaciones  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en sitios cercanos al estele.

Debido al escaso transporte de  $\text{Na}^+$  en el floema, la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  tiende a ser muy baja en frutos, debido a que éstos son abastecidos principalmente por el floema (ver Tabla 2.4). Sin embargo, existe una exclusión activa de  $\text{Na}^+$  de frutos y de ápices; experimentalmente, se ha observado que la mayor parte del  $\text{Na}^+$  que alcanza el ápice tiende a ser eliminado hacia partes inferiores; esto es particularmente notable en frijol (ver Tabla 2.5) (Lessant y Marschner, 1978).

#### Distribución y acumulación de $\text{Na}^+$ y $\text{K}^+$ en la planta

La acumulación de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en los diferentes órganos de la planta presenta gran variación entre diferentes especies, e incluso existen grandes diferencias en la concentración de iones entre diferentes partes de la misma planta, pero es posible distinguir entre ciertos patrones de acumulación de iones que son característicos de plantas con elevada tolerancia a la salinidad,

Tabla 2.3. Contenido de sodio y potasio en la savia del xilema de la raíz de dos halófitas

Especie	Medio	Conc. iónica (mM)		
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>
<i>Aeluropus litoralis</i>	Sol. Hoagland	1.6	5.6	0.28
	Sol. Hoagland + 100 mM NaCl	5.7	5.4	1.05
<i>Atriplex halimus</i>	Sol. Hoagland	2.6	12.0	0.21
	Sol. Hoagland + 100 mM NaCl	5.3	9.1	0.58

Tabla 2.4. Contenido de sodio y potasio en mM/g de peso seco de hojas y grano de cebada a dos niveles de salinidad del medio

	NaCl 125 mM			NaCl 1 mM		
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>
Hojas	1.0	0.7	1.42	0.15	1.5	0.1
Grano	0.03	0.26	0.11	0.014	0.3	0.04

Tabla 2.5. Transporte de sodio del brote a la raíz 48 horas después de una aplicación foliar de NaCl en dos cultivos (las cifras indican el porcentaje del total translocado)

	ápice del brote	raíces
Frijol	3%	41%
Remolacha	35%	13%

Tabla 2.6. Contenidos de sodio y potasio ( $\mu\text{M/g}$ ) en células de raíz de *Helianthus* de distinta edad (en función de sus distancia a partir del meristemo apical)

Distancia al ápice (cm)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
	0-1	18
1-2	19	111
2-3	18	123
3-4	18	113
4-5	17	108
5-6	18	113

y otros más bien en plantas sensibles a esta condición.

En las raíces de las plantas es común observar que los contenidos de  $K^+$  se mantienen relativamente constantes con el tiempo, y no varían mucho con cambios en la concentración externa; lo mismo puede decirse para el caso del  $Na^+$  (Pitman, 1976), de modo que al parecer el  $Na^+$  y el  $K^+$  de las vacuolas de las células radicales presentan un equilibrio de flujo con la solución externa, ya que de otra manera sus concentraciones disminuirían rápidamente debido al transporte que se da al tallo. Esto se ha observado en varias especies, como *Helianthus* (ver Tabla 2.6 Bowling y Ansari, 1972), *Vicia faba* (Pallaghy y Scott, 1969) y cebada (Greenway et al, 1966), en la que se estableció que la constancia en los niveles de  $Na^+$  y  $K^+$  persistía por varios meses. En cuanto a lo que se refiere a la distribución de las sales en la raíz, en halófitas como *Atriplex hortensis* el contenido de  $Na^+$  permanece constante a lo largo de la raíz, mientras que el contenido de  $K^+$  aumenta hacia el ápice; en cambio, en plantas sensibles a la salinidad, ambos iones se distribuyen uniformemente, aunque un tratamiento con NaCl ocasiona un incremento de  $Na^+$  basípeto en *Hordeum distichon* (Jeschke y Shelter, 1976). Transversalmente, en las células del parénquima cortical, el contenido de  $K^+$  es siempre bajo (Lauchli et al, 1971), mientras que el periciclo y el estele tienen contenidos altos, encontrándose el máximo en células adyacentes al xylema; en esta zona también se hallan fuertes acumulaciones de  $Na^+$  bajo condiciones de salinidad en algunas especies, como *Phaseolus coccineus* (Kramer et al, 1977) y *Zea mays*. Si bien en esta última especie la relación  $Na^+/K^+$  en el parénquima cortical es más baja que en el parénquima xilemático, en la cebada ocurre lo contrario. Los niveles de  $Na^+$  y  $K^+$  desempeñan, al parecer, dos papeles: uno, en la activación de enzimas por parte del potasio, y el otro, que involucra tanto al  $K^+$  como al  $Na^+$ , en mantener la presión osmótica del interior de las vacuolas.

En las partes aéreas de la planta, la acumulación de iones  $Na^+$  y  $K^+$  varía considerablemente entre halófitas y glicófitas. En las glicófitas, los contenidos de  $Na^+$  en el brote tienden a ser bajos, tanto en el tallo como en las hojas, siendo más notable la exclusión de  $Na^+$  en estas últimas; sin embargo, en las halófitas se da el efecto contrario, ya que en promedio, más del

90% del  $\text{Na}^+$  de las halófitas se encuentra en el brote, y de ese porcentaje el 80% está en las hojas (Flowers et al, 1977). En plantas tolerantes, un incremento en la salinidad del suelo se refleja en un aumento en el contenido de  $\text{Na}^+$  del brote, junto con una disminución en el contenido de  $\text{K}^+$ ; en contraste, en plantas sensibles o poco tolerantes, un aumento en los niveles de  $\text{Na}^+$  del brote trae consigo también un aumento en el contenido de  $\text{K}^+$  (Greenway y Munns, 1980). Sin embargo, es un hecho establecido que las glicófitas tienden a evitar el transporte excesivo de  $\text{Na}^+$  al brote, reteniéndolo en las vacuolas de las células de las raíces (Hoymans, 1974), lo cual contrasta con las halófitas, donde existe un transporte preferencial de  $\text{Na}^+$  hacia el brote; por ejemplo, se ha demostrado lo anterior en *Suaeda maritima* y *S. monoica*, donde incluso se ha observado que casi todo el sodio total absorbido por las raíces es eventualmente enviado al tallo (Flowers et al, 1977). Resultados similares se han obtenido al comparar el transporte de  $\text{Na}^+$  al brote entre dos especies de *Lupinus*, *L. luteus*, tolerante a la salinidad, y *L. angustifolius*, sensible a la salinidad, donde el más tolerante *Lupinus luteus* se distingue por su ineficiencia para retener  $\text{Na}^+$  en la raíz (Van Steveninck et al, 1982).

De la misma manera, existen diferencias entre halófitas y glicófitas en lo referente a la distribución de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  a nivel de las hojas. En las glicófitas se observa que las hojas jóvenes tienen menores concentraciones de  $\text{Na}^+$  que las hojas maduras, lo cual es debido en gran medida a los mayores flujos de  $\text{Na}^+$  vía el xilema que se dan hacia las hojas más grandes, debido a su mayor transpiración (aunque algunas plantas tolerantes, como la cebada, muestran elevados flujos netos de  $\text{Na}^+$  hacia las hojas, Greenway et al, 1965). En cambio, en las halófitas, los niveles de  $\text{Na}^+$  de las hojas jóvenes tienden a ser tan elevados como en las hojas maduras y aún más (Greenway y Munns, 1980), lo cual parece ser una adaptación al medio salino, para evitar efectos osmóticos en las hojas jóvenes, y al mismo tiempo evitar excesos en las maduras. Es notable el hecho de que en las halófitas prácticamente no existe retranslocación del  $\text{Na}^+$ , pues una vez que llega a las hojas queda retenido en ellas, y no es transportado a otras hojas, y ni siquiera se mueve en las yemas axilares, como se ha observado en *Suaeda maritima* y varias especies de *Atriplex* (Osmond, 1968; Flowers et al, 1977).

### Distribución y acumulación de $\text{Na}^+$ y $\text{K}^+$ en la célula vegetal

Los valores de los contenidos de iones en las hojas de plantas crecidas bajo condiciones de alta salinidad, particularmente halófitas, tienden a ser muy elevados como para permitir una adecuada función de las diversas enzimas y organelos que forman parte de las células vegetales, las cuales, como ha sido señalado, presentan una alta sensibilidad a la salinidad. Sin embargo, aún cuando los contenidos totales de iones en el interior de la célula son muy elevados, existe una compartimentalización de los mismos, básicamente en la vacuola, la cual puede constituir 95% o a veces más del volumen total de la célula.

El  $\text{Na}^+$  y el  $\text{K}^+$  no se distribuyen uniformemente en el interior de la célula; existen diferencias en sus niveles de acumulación entre diferentes compartimientos de la misma célula, y esto varía entre células de diferentes órganos de la planta.

En el caso del ión  $\text{K}^+$ , tiende a encontrarse presente en varios compartimientos celulares, aunque sus niveles en el citoplasma son generalmente mayores que en la vacuola; por ejemplo: en *Zea mays*, existen 2.7 veces más potasio en el citoplasma que en la vacuola, y sus niveles en el núcleo y los cloroplastos, parecidos entre sí, son aún más altos que en el citoplasma (Pallaghy 1973). En cebada, el contenido de  $\text{K}^+$  del citoplasma varía dentro de un rango de 70 - 120 mM, mientras que en la vacuola es de sólo 9-12 mM (Pitman et al, 1981). En *Pisum sativum*, su concentración en los cloroplastos alcanza 300 mM (Nobel, 1975). Los niveles reportados para el caso de halófitas tienden a ser muy constantes; Flowers et al, (1977), reporta contenidos promedio de 80 mM de  $\text{K}^+$  en el citoplasma y la vacuola de células tanto de hojas como de raíces.

El caso del ión  $\text{Na}^+$  es muy diferente. En contraste con los niveles de  $\text{K}^+$ , existe muy poco  $\text{Na}^+$  en el citoplasma, y mucho en las vacuolas. En *Zea mays*, el contenido de  $\text{Na}^+$  del citoplasma varía según el nivel de salinidad del suelo, desde 15 mM con un nivel de 1 mM de NaCl en el medio, has-

ta 50 mM, con 30 mM de NaCl en el suelo, llegando a alcanzar relaciones  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  de 0.1, mientras que en la vacuola, el valor de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  llega a ser hasta de 0.6; Wyn Jones et al, (1979) señala la necesidad de que la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  para las glicófitas debe de ser inferior a uno para tener una máxima eficiencia en los sistemas enzimáticos; igualmente, Osmond (1976) reporta que la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en el citoplasma de células de raíz de cebada es más baja que en la vacuola y la solución extracelular. En el caso de halófitas, es común observar que los contenidos de  $\text{Na}^+$  celular llegan a ser muy elevados. El nivel de  $\text{Na}^+$  total alcanza de 500 a 700 mM, pero el sodio, en su mayor parte, se encuentra extracelularmente, hasta 300 mM en la vacuola de células radicales y 600 mM en vacuolas de células de las hojas, mientras que en los citoplasmas, rara vez supera los 150 mM (Flowers et al, 1977; Flowers y Lauchli, 1983); por ejemplo, *Suaeda maritima* acumula cinco veces más sodio en la vacuola que en el citoplasma y su relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , es, promedio, superior a 4 (Yeo, 1981).

Los valores de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  tienden a ser muy elevados en las vacuolas; en *Atriplex*, alcanzan un valor de 6 a 10, en contraste con el citoplasma, donde el valor es generalmente menor a 1 (Munns et al, 1983). Incluso, esta relación tiende a mantenerse constante, independientemente de las concentraciones totales de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ; en *Triglochin maritima*, Jefferies (1973) encontró que el valor de esta relación era 0.2 en el citoplasma y 15 en las vacuolas de células de la raíz, aún cuando en ambos compartimientos la concentración de  $\text{Na}^+$  era similar, de 150 mM.

Al parecer, la constancia en el hecho de que el  $\text{K}^+$  tiende a dominar en el citoplasma y el  $\text{Na}^+$  en la vacuola, aún en halófitas, señala la existencia de mecanismos de transporte activo de  $\text{Na}^+$  del citoplasma hacia la vacuola (Jeschke, 1979), lo cual constituye una adaptación al medio salino, ya que los contenidos de  $\text{Na}^+$  en el citoplasma no interfieren en la acción de sistemas enzimáticos sensibles y además la compartimentalización del  $\text{Na}^+$  en la vacuola permite reemplazar en ella al  $\text{K}^+$  que allí se encontrara desempeñando un papel osmótico, con lo cual el  $\text{K}^+$  puede salir al citoplasma e interve-

nir en la activación de enzimas; esto último parece ser uno de los motivos por los cuales el  $\text{Na}^+$  puede aliviar deficiencias de  $\text{K}^+$ , al permitir que todo el  $\text{K}^+$  se concentre en el citoplasma.

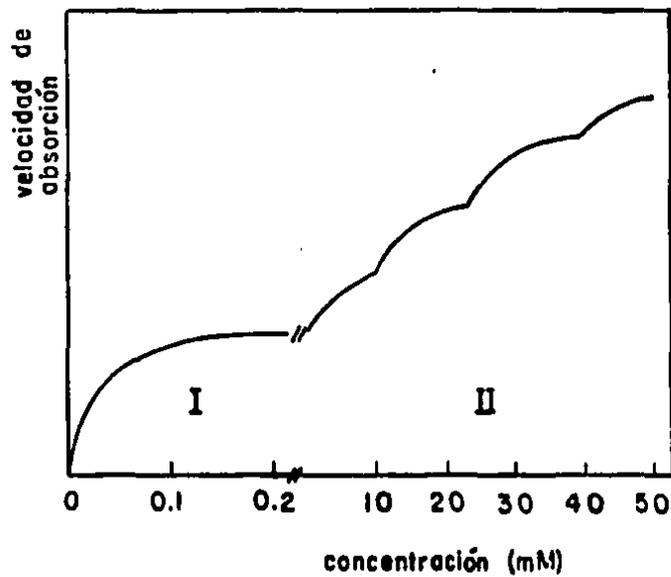


Figura 2.2. Representación de la Isoterma de absorción (I = mecanismo I; II = mecanismo II).

Algunos aspectos relacionados con la acumulación de iones en el frijol.

Meiri y Poljakoff - Mayber (1967) evaluaron el efecto de incrementar la salinidad del medio sobre el crecimiento en grosor y área de hojas de frijol. Encontraron que las hojas de plantas expuestas a una rápida salinización veían reducido el desarrollo del área foliar, mientras que el crecimiento en grosor era incrementado en comparación con plantas sometidas a una salinización lenta. Por otra parte, un cambio abrupto en la salinidad ocasionaba un inmediato descenso en la tasa de crecimiento en general, aunque después de un tiempo volvía a darse un aumento en el grosor de la hoja. Asimismo, observaron un incremento en el número de células, unido a una disminución en el tamaño de las mismas. Meiri et al (1970) y Meiri y Poljakoff - Mayber (1969) evaluaron el efecto del tiempo de exposición a la salinidad sobre el frijol, encontrando una reducción en la transpiración de las plantas crecidas en un medio salino, (debida en parte a la reducción en el área foliar), y si las plantas se alternaban de un medio salino a uno no salino, sucesivamente, cuando se encontraban en el medio salino su transpiración disminuía, aumentando al ser transferidas al medio no salino. Por otra parte, se encontró que el potencial osmótico interno de las plantas sometidas a salinidad era menor, y que los contenidos de sodio y potasio en las hojas aumentaban, sobre todo el potasio. Meiri y Poljakoff - Mayber (1970) profundizaron en este último aspecto, exponiendo plantas de diferente edad a la salinidad, y encontraron que mientras más pronto se sometían las plantas a la salinidad, era mayor su contenido de iones en las hojas, especialmente cloruros, sodio y potasio, y propusieron que estos iones intervenían en el ajuste osmótico, el cual sólo se alcanzaba en plantas expuestas a un largo período de salinidad constante. Los mismos autores señalan adicionalmente que a pesar de lograr el ajuste osmótico, las tasas de transpiración permanecían reducidas.

Meiri et al (1971) estudiaron el efecto de dos tipos de sales de sodio, cloruro y sulfato, sobre el crecimiento de frijol, encontrando que la producción de biomasa se veía afectada de manera similar con ambas sales, aunque la salinidad de cloruro reducía más el potencial osmótico interno que la de sulfato.

to, aunque en el primer caso sí se lograba el ajuste osmótico, a diferencia del segundo, donde el ajuste osmótico nunca fué completo. Asimismo, la tasa de transpiración era más reducida con cloruros que con sulfatos. Sin embargo; señalan que aún cuando las concentraciones de cloruros y sulfatos eran isoosmóticas, las cantidades de sodio en cada una eran diferentes, y es un factor que debe ser tomado en cuenta.

Jacoby (1964), estudiando el movimiento del sodio entre la raíz y el tallo, usando NaCl marcado, observó que el sodio se distribuía libremente en la raíz pero sin pasar al tallo, al exponer plantas de frijol a una solución  $10^{-3}$  M de NaCl. En cambio, el cloruro pasaba rápidamente a la parte aérea. Por otro lado, sometiendo al mismo tratamiento plantas a las que se había quitado la raíz, encontró que el sodio era retenido en las partes bajas del tallo, y un aumento en la concentración de NaCl del medio provocaba un ascenso gradual del "frente" de sodio en el tallo, hasta que éste se saturaba por completo. Este frente de sodio era más alto también en plantas sometidas a un período más largo de exposición a la salinidad. Sus resultados señalan que no hay ninguna barrera en la raíz para la entrada del sodio al tejido vascular, y que el sodio va ascendiendo de la raíz al tallo gradualmente, arrastrado por el flujo de la transpiración, conforme se va saturando los tejidos inferiores. De acuerdo con esto, podría esperarse acumulación de sodio en las hojas sólo después de un período largo de exposición a la salinidad. Posteriormente, este mismo autor (1965) llegó a la conclusión de que la retención de sodio se debe a su acumulación activa en el interior de las células, proceso que involucra un gasto energético.

### 3. OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- 1) Evaluar el grado de tolerancia a la salinidad del suelo de dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*): Flor de Mayo y Negro 150.
- 2) Determinar los niveles de acumulación de sodio y potasio en los diferentes órganos de las dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) con diferentes grados de tolerancia a la salinidad.
- 3) Conocer los cambios que se dan en las concentraciones de sodio y potasio de las diferentes partes de la planta cuando se dan variaciones en el contenido de sales del suelo con el tiempo y con la profundidad, y relacionar los con su tolerancia.

#### 4. METODOLOGIA

El desarrollo del presente trabajo consistió de varias etapas: la primera de ellas fué la elección de dos variedades de frijol que fueran similares en su hábito de crecimiento, de manera que fuera posible efectuar comparaciones entre ellas que no estuvieran limitadas por diferentes ciclos de vida. De esta manera, fueron elegidas las variedades Flor de Mayo y Negro 150, variedades muy similares entre sí, ya que ambas tienen un hábito de semiguía, así como un ciclo muy parecido, alcanzando las dos la antesis en un promedio de  $60 \pm 2$  días, y completando su ciclo en alrededor de 120 días (Nava, 1984).

La siguiente etapa fué la obtención del suelo a utilizar como sustrato para la parte experimental. Considerando la escasa tolerancia a la salinidad que presenta el frijol, y tomando en cuenta la gran variabilidad en la distribución de sales que se presenta en los suelos salinos, se decidió llevar a cabo este trabajo en invernadero, utilizando suelo salinizado artificialmente a los niveles requeridos. La localidad de donde se tomó el suelo utilizado se ubica en el área de influencia de Chapingo, municipio de Texcoco, Edo. de México. El suelo elegido pertenece a la serie Xaltepa; se trata de suelos franco arenosos, con conductividades eléctricas inferiores a 1 dS/m (Cachón et al, 1974). Se muestreó aproximadamente una tonelada de este suelo, la cual se secó, homogeneizó y tamizó a través de una malla de 2 mm. De este suelo se tomó una muestra compuesta, formada por cinco submuestras, a la cual se practicaron los análisis físicos y químicos de rutina. Estos resultados se presentan en la Tabla 5.1.

El conocimiento de la tolerancia a la salinidad de ambas variedades era requerido para la realización de este trabajo; sin embargo, prácticamente no existe en nuestro país este tipo de información, de modo que se hizo necesario comenzar el trabajo desarrollando una evaluación de la tolerancia a la salinidad a nivel de invernadero. Para el planteamiento de esta etapa fué necesario considerar que el frijol es un cultivo sensible a la salinidad, al grado de que se considera que su rendimiento disminuye en 50%, en presencia de una conductividad eléctrica de 2 dS/m en el suelo, y se reduce a cero con

una conductividad de 4 (Carter, 1975). De este modo, los tratamientos que se plantearon para esta etapa consistieron en sembrar semillas de ambas variedades en macetas con 10 kg de suelo cada una, conteniendo los siguientes tratamientos: 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 y 4 dS/m. Como se desprende de la tabla 5.1, el suelo a utilizar tenía una conductividad eléctrica de 0.9 dS/m. Partiendo de este valor, las porciones de suelo para cada tratamiento fueron salinizadas artificialmente con cloruro de sodio en las cantidades necesarias para llevar la conductividad eléctrica al valor requerido por el tratamiento. Esto se realizó considerando que 1 dS/m equivale a 640 ppm de sales en el suelo (Richards, 1981), de manera que para llevar el suelo original de 0.9 a 1 dS/m es necesario agregarle 64 ppm de cloruro de sodio, o sea 0.064 gramos por kilogramo de suelo (según lo anterior, 0.9 dS/m equivalen a 576 ppm de sales). Del mismo modo, las cantidades de cloruro de sodio requeridas para llevar el suelo de cada tratamiento al nivel de conductividad eléctrica requerido fueron las siguientes:

C.E. (dS/m)	NaCl (g/kg de suelo)
1.0	0.064
1.5	0.384
2.0	0.704
2.5	1.024
3.0	1.344
3.5	1.664
4.0	1.984

Considerando que en cada maceta se utilizaron 10 kg de suelo, la cantidad de NaCl aplicada a cada maceta es la indicada arriba para cada tratamiento, multiplicada por 10.

Los tratamientos anteriores se aplicaron a ambas variedades de frijol, teniéndose entonces un total de  $7 \times 2 = 14$  tratamientos correspondientes a esta etapa. Cada tratamiento se llevó a cabo con cinco repeticiones, en un arreglo de bloques al azar. En cada maceta se sembraron inicialmente cinco semillas de frijol de la variedad correspondiente; después de la germinación

se dejó sólo una planta por maceta. El método de riego utilizado se explica posteriormente; se dejó que las plantas completaran su ciclo, y se procedió a cosechar y evaluar el peso de las semillas con cada planta, para establecer su tolerancia con base al criterio del rendimiento relativo.

Una vez conocida la tolerancia relativa de cada variedad, se procedió a efectuar la siguiente etapa, tendiente a evaluar la acumulación de sodio y potasio en las distintas partes de las plantas, bajo cuatro diferentes condiciones de salinidad:

1. Evaluación de la acumulación de sodio y potasio en plantas sometidas a diferentes niveles de salinidad constante del suelo.
2. Evaluación de los cambios en dicha acumulación cuando las raíces de las plantas se desarrollan en un principio en una capa de baja salinidad y posteriormente entran en una capa más profunda de mayor salinidad.
3. Evaluación de la acumulación de sodio y potasio en las plantas durante una etapa temprana de su desarrollo.
4. Evaluación de los cambios en la acumulación de estos iones cuando la planta se desarrolla en un suelo con un cierto nivel de salinidad, el cual posteriormente sufre un incremento.

En esta etapa no se emplearon macetas, sino tubos flexibles de polietileno negro de 15 cm. de diámetro, abiertos en ambos extremos, mismos que se llenaron con suelo y se colocaron sobre un plato. Considerando este aspecto, las cuatro condiciones señaladas, en forma detallada, se establecieron de la siguiente manera:

- I. Para la condición 1, se utilizaron tres grupos de tubos de 45 cm de altura, los cuales se llenaron con 12 kg de suelo, mismo que ocupó dentro del tubo la profundidad de 40 cm; los restantes 5 cm se dejaron libres para facilitar la aplicación de los riegos. En los tres grupos de tubos se distribuyeron tres niveles de salinidad del suelo; 1, 2 y 4 dS/m, obteniéndose estos niveles de la misma forma que en la etapa anterior, añadiendo NaCl,

y se permitió el crecimiento de las plantas hasta que llegaron a la antesis (60 días aproximadamente), retirándolas en este momento para efectuar los análisis correspondientes.

- II. Para la condición 2, se utilizaron dos tipos de tubos distribuidos en dos grupos: en un principio, las semillas se sembraron en tubos de 25 cm de altura, con 6 kg de suelo salinizado a 1 dS/m, y en los cuales se permitió el desarrollo de las plantas durante treinta días, al término de los cuales se colocó por debajo de estos tubos otra sección de tubo, esta vez de 20 cm de altura, conteniendo otros 6 kg de suelo salinizado, en tubos separados, a los siguientes niveles de 2 y 4 dS/m; con ésto, las plantas tenían ahora como contenedores tubos de 45 cm de altura con 12 kg de suelo, como en la condición anterior, pero en los cuales la capa superior de 20 cm era de baja salinidad y la capa inferior de mayor salinidad, con dos niveles; de este modo, al irse desarrollando, las raíces crecieron treinta días en la primera capa, y se dejó que se desarrollaran hasta la antesis (otros treinta días) en la segunda capa, al cabo de lo cual fueron retiradas.
- III. Para la condición 3, se usaron tres grupos de tubos de 25 cm de altura, idénticos a los de la primera capa de la condición 2, pero salinizados a 1, 2 y 4 dS/m, como en la condición 1. En ellos, se permitió el desarrollo de las plantas sólo durante 30 días, siendo entonces retiradas. La razón de estos tratamientos se explica en seguida.
- IV. Para la condición 4, se emplearon dos grupos de tubos de 45 cm de altura en los que se colocaron 12 kg de suelo salinizado a 1 dS/m; a los treinta días de desarrollo de las plantas en ellos, se les añadió la cantidad necesaria de NaCl para llevarlos a los siguientes niveles de 2 y 4 dS/m, y se prosiguió hasta llegar a la antesis, cuando fueron retiradas las plantas.

La razón del planteamiento de los tratamientos II, III y IV obedece a la consideración de que las plantas normalmente se encuentra sometidas a fluctuaciones en la distribución y contenido de sales en el suelo, de manera que no es suficiente con conocer la acumulación de iones que se dá con diferentes niveles de salinidad (tratamiento I), ya que en condiciones reales, la sa

salinidad no permanece constante; es entonces necesario conocer los posibles cambios que se pueden dar bajo condiciones de campo, y su influencia sobre la acumulación de iones en la planta, para poder establecer una relación más precisa entre la tolerancia de una planta a la salinidad y la acumulación de dichos iones en sus tejidos. De esta manera, el tratamiento II considera los cambios en la distribución de sales que la raíz de una planta enfrenta al ir profundizando en el suelo, y el tratamiento IV toma en cuenta cambios en la concentración total de sales del suelo que se dan en el tiempo, debido por ejemplo a la aplicación de un riego con agua de mala calidad o al ascenso de sales provenientes de un manto freático salobre. El tratamiento III es en cierto modo un testigo, ya que, al mostrar los contenidos de sodio y potasio de las plantas a la mitad del tiempo de los restantes tratamientos, permite evaluar los cambios sufridos por las plantas en el caso que la salinidad no cambiara (comparando con el tratamiento I), o cuando se dieran variaciones (comparando con los tratamientos II y IV); es importante notar que, hasta el momento en que el tratamiento III fué retirado, no existía diferencia entre éste y los tratamientos II y IV, la cual se dió después de dicho momento.

Resumiendo todo lo anteriormente planteado, las variantes en los tratamientos que constituyeron esta etapa fueron las siguientes, indicando las claves con las que serán tratadas a partir de este momento:

- I 1: tratamiento I, con CE de 1 dS/m, retirando a los 60 días (aproximadamente)
- I 2: tratamiento I, con CE de 2 dS/m, retirando a los 60 días
- I 4: tratamiento I, con CE de 4 dS/m, retirando a los 60 días
- II 2: tratamiento II, comenzando con una capa de CE de 1 dS/m, y añadiendo otra capa de 2 dS/m, a los 30 días, retirando a los 60 días
- II 4: tratamiento II, comenzando con una capa de CE de 1 dS/m, y añadiendo otra capa de 4 dS/m, a los 30 días, retirando a los 60 días
- III 1: tratamiento III, con CE de 1 dS/m, retirando a los 30 días
- III 2: tratamiento III, con CE de 2 dS/m, retirando a los 30 días

- III 4: tratamiento III, con CE de 4 dS/m, retirando a los 30 días  
 IV 2: tratamiento IV, comenzando con CE de 1 dS/m, y elevando la CE a 2 dS/m, a los 30 días, retirando a los 60 días  
 IV 4: tratamiento IV, comenzando con CE de 1 dS/m, y elevando la CE a 4 dS/m, a los 30 días retirando a los 60 días

Estos tratamientos fueron llevados a cabo con ambas variedades de frijol. La clave que se utilizó para la variedad Flor de Mayo fué una F, mientras que para la variedad Negro 150 se usó una N. De este modo las claves de los tratamientos específicos para cada variedad fueron las siguientes:

## FLOR DE MAYO

F I 1

F I 2

F I 4

F II 2

F II 4

F III 1

F III 2

F III 4

F IV 2

F IV 4

## NEGRO 150

N I 1

N I 2

N I 4

N II 2

N II 4

N III 1

N III 2

N III 4

N IV 2

N IV 4

De acuerdo a lo anterior, esta etapa consistió de un total de 20 tratamientos, correspondiendo 10 de ellos a cada una de las dos variedades. Cada tratamiento fué desarrollado por triplicado, utilizando un diseño de bloques al azar, lo que dió un total de 60 unidades experimentales.

Al igual que en la primera etapa, en cada una de las unidades experimentales se sembraron cinco semillas, para dejar sólo una planta después de la germinación. Los riegos se llevaron a cabo utilizando agua destilada con

el fin de evitar contaminaciones, y las cantidades de agua aplicadas se basaron en el conocimiento de la capacidad de campo (CC) y del punto de marchitez permanente (PMP) mencionados en la Tabla 5.1 (22.8 y 11.08%, respectivamente). De acuerdo con estos valores, las cantidades de agua para llevar a las columnas de suelo a los niveles de humedad correspondientes a la capacidad de campo fueron 2 736 ml, para las columnas de 12 kg de suelo, y 1 368 ml, para las de 6 kg. En un principio, se agregó a cada columna la cantidad de agua correspondiente para llevar su contenido de humedad al valor de CC (100% de humedad aprovechable), lo cual elevaba el peso de las columnas de 12 kg a 14.736 kg y las de 6 kg a 7.368 kg. Considerando que se ha demostrado que el rendimiento del frijol no se ve afectado mientras la humedad del suelo permanezca en un rango que varía entre 50 y 100% de la humedad aprovechable (González, 1981), el control de riegos se planeó con base a la pérdida de peso de las columnas debida a la evapotranspiración del agua, de modo que el peso de las columnas se mantuviera entre los niveles de humedad arriba señalados; las columnas se pesaban periódicamente, sin impedir que su peso descendiera a menos del 50% de humedad aprovechable (14.028 kg para las columnas de 12 kg y 7.014 para las de 6 kg), y se añadía el agua necesaria para llevarlas al 100% de humedad aprovechable. Posteriormente, considerando el aumento en el peso de las columnas debido al incremento en la biomasa de las plantas, se añadió a los anteriores valores un factor de corrección de 10 gramos cada dos semanas, basado en la producción de materia seca del frijol Flor de Mayo observada en un trabajo anterior (Ortiz, 1980). Este método de riego también se aplicó en la primera etapa de este trabajo.

Una vez finalizados los períodos de crecimiento correspondientes a cada tratamiento, las plantas fueron retiradas, obteniéndose de cada una su peso fresco total, tanto de la parte aérea como del sistema radical, mismo que se obtuvo mediante lavado sobre una malla metálica. Enseguida, se eligió la rama más larga de cada planta (la derivada directamente del epicótilo, en la mayoría de los casos), y se separó del resto de la planta, procediéndose a su seccionamiento en sus entrenudos y hojas componentes, y de las hojas se separó el peciolo de los folíolos; cada partefué pesada de inmediato para obtener su peso fresco, y posteriormente las partes se secaron, por separado,

en una estufa a  $40^{\circ}$  C para obtener su peso seco, lo cual también se hizo para el resto de la planta. En la gran mayoría de las plantas de los tratamientos I, II y IV, la rama más larga estaba constituida por 18 entrenudos, con unas pocas teniendo entre 19 y 21, sin que ninguna tuviera menos de 18; debido a esto, se consideró conveniente analizar para cada planta 18 entrenudos, ubicando junto con el décimo octavo a los entrenudos siguientes, en el caso de que los hubiera. De esta manera, cada rama se consideró constituida por 18 entrenudos y los 16 pecíolos y 16 láminas (folíolos) correspondientes a los entrenudos. En los tratamientos III, por su menor edad, existía un número menor de entrenudos, tomándose un número de 14 para el tratamiento F III 1, 12 para los tratamientos F III 2 y N III 1, 11 para los F III 4 y N III 2, y 10 para el N III 4. Cada entrenudo, pecíolo y lámina fue sometido a una calcinación en una mufla a  $450^{\circ}$  C durante 4 horas, en crisoles de porcelana, disolviendo posteriormente las cenizas en 5 ml de HCl 2N (Chapman y Pratt, 1981), y aforando a 25 ml; posteriormente, cada solución fue sometida a la determinación de sodio y potasio por medio de un flamómetro Corning 400. Los resultados se relacionaron al material seco original para expresarlos como partes por millón de Na y K en relación a la materia seca, y también se relacionaron con los pesos frescos de cada parte obtenidos inicialmente, para expresarlos como miliequivalente por litro en relación a la materia húmeda, según los contenidos de humedad que tenían las partes en el momento de ser cortadas. Asimismo, a partir de las mediciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  se obtuvieron los valores de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  para cada caso. Las mismas determinaciones se realizaron con las raíces. Por último todos los resultados se sometieron a análisis estadísticos, los cuales se describen en el apéndice.

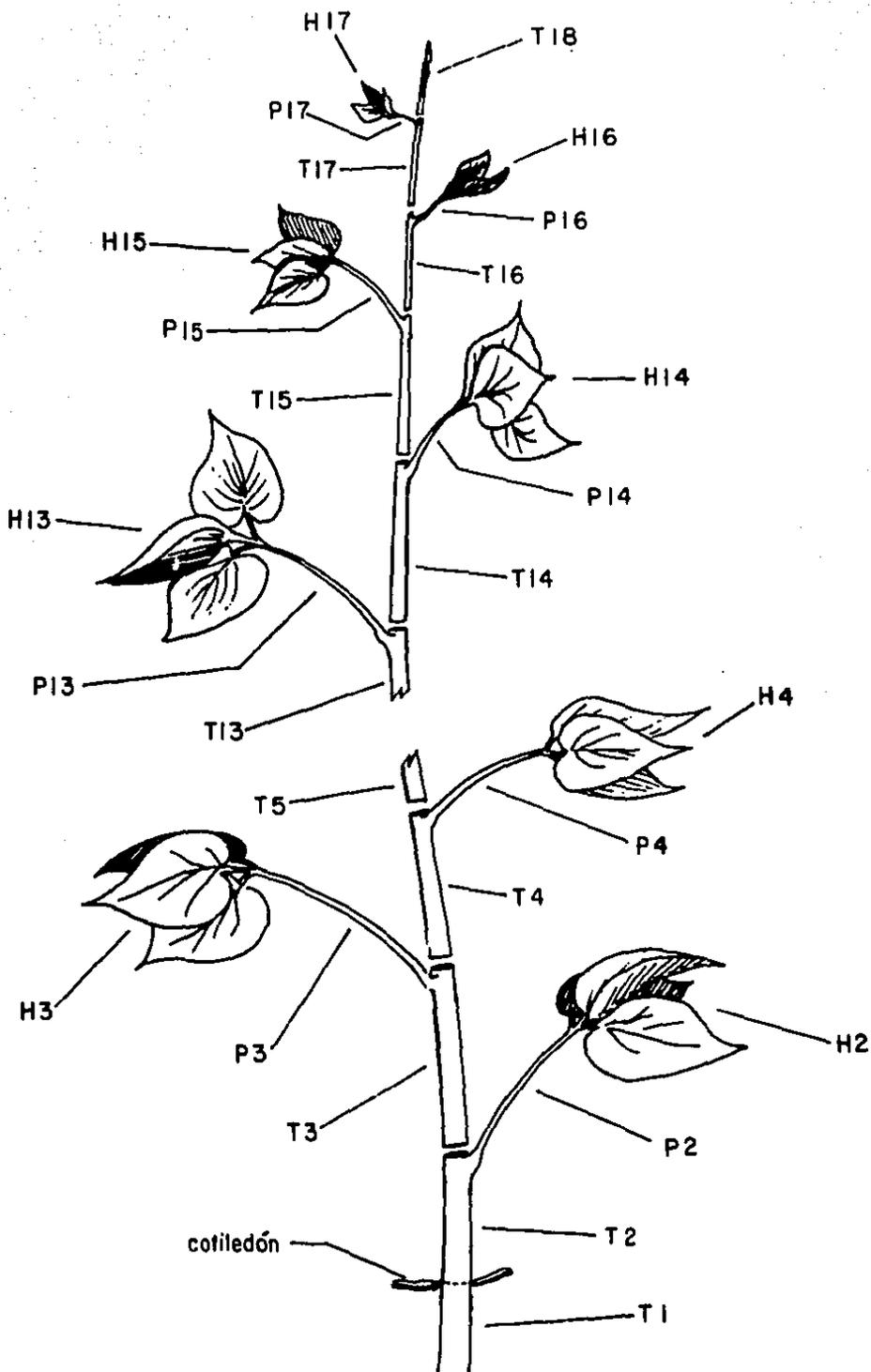


Figura 4.1. Esquema que muestra el seccionamiento en entre nudos (T), peciolo (P) y láminas foliares (H).

## 5. RESULTADOS

### A. SUELO

Los resultados de los análisis del suelo utilizado se muestran en la Tabla 5.1. Como puede observarse, se trata de un suelo de textura media tendiendo a ligera, con mediana capacidad de retención de agua, pH ligeramente alcalino y contenidos de sales solubles bajos en general; asimismo, su contenido de materia orgánica es medio, y esto, unido al contenido de arcilla da una capacidad de intercambio catiónico media también, de 35 me/100 g. Como ya se indicó, este suelo pertenece a la serie Xaltepa (Cachón, 1976). Se trata de suelos normalmente utilizados para el cultivo de alfalfa y maíz, y que por su capacidad de uso y aptitud al riego pertenecen a la primera clase, ya que son suelos profundos y casi sin pendiente.

Por estas razones, se considera que este suelo presentaba características óptimas para su uso experimental, ya que no presentaba deficiencias que pudieran ser limitantes y que hubieran influido en los resultados obtenidos. El único factor importante es su capacidad de retención de agua, que no es alta, y que por la misma razón llevaba a que la concentración de sales en el suelo fuera mayor a capacidad de campo, que la estimada en el extracto de saturación. De acuerdo con los cálculos que establece Pizarro (1978), en este suelo la conductividad eléctrica a capacidad de campo, sería normalmente de:

$$CE_{cc} = 0.9 \times \frac{30.00}{22.80} = 1.17 \text{ dS/m}$$

y en el punto de marchitez permanente, de

$$CE_{mp} = 0.9 \times \frac{30.00}{11.08} = 2.43 \text{ dS/m}$$

Si consideramos que en este trabajo los riegos se efectuaron de modo que el suelo se mantuviera en un rango entre 100 y 50% de la humedad aprovechable, (o sea, entre el valor de CC y un valor intermedio entre CC y PMP), los rangos dentro de los que osciló la conductividad eléctrica de los tratamientos utilizados fueron los siguientes:

CE saturación	CE 100% H.A.	CE 50% H.A.
1	1.31	2.00
2	2.62	4.01
4	5.24	8.02

Desde luego que los valores anteriores son algo altos para un cultivo sensible como es el frijol, pero debe recordarse que los valores de conductividad eléctrica que comúnmente se establecen para diferentes cultivos son expresados en función del extracto de saturación. Ya en el campo, la conductividad eléctrica del suelo es mayor, debido a los menores contenidos de agua presentes.

Tabla 5.1. Resultados del análisis del suelo utilizado

## Determinaciones físicas

## Textura:

Contenido de arenas	58.20%
Contenido de limos	18.92%
Contenido de arcillas	22.88%
Denominación	Franco arcillo arenoso

## Retención de humedad:

A capacidad de campo	22.80%
A punto de marchitez permanente	11.08%

## Determinaciones químicas

Conductividad eléctrica 0.9 dS/m

## Iones solubles:

Na <sup>+</sup>	2.2 me/l
K <sup>+</sup>	2.9 me/l
Ca <sup>++</sup>	4.5 me/l
Mg <sup>++</sup>	5.5 me/l
Cl <sup>-</sup>	2.7 me/l
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0.8 me/l
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7.8 me/l
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	2.2 me/l

pH (del extracto) 7.9

Capacidad de intercambio catiónico 35.0 me/100g

Materia orgánica 4.01%

## B. TOLERANCIA

Los resultados obtenidos en cuanto a los rendimientos de las variedades de frijol utilizadas, en función de la salinidad del suelo, se muestra en la Tabla 5.2 y en la gráfica que la acompaña. Los valores que se muestran son el promedio de 5 repeticiones.

Como se desprende de dichos resultados, la variedad que resultó ser la más tolerante es la variedad Flor de Mayo, ya que muestra una reducción menor en el rendimiento debida al incremento en la salinidad en comparación con la variedad Negro 150. En efecto, si bien el rendimiento de ambas variedades en la condición de menor salinidad (1 dS/m) fué similar, en la condición de mayor salinidad (4 dS/m) el rendimiento en la variedad Negro 150 se había reducido a menos del 10%, mientras que en la variedad Flor de Mayo sólo se redujo a un valor cercano al 40% del rendimiento original. Como ya se había mencionado anteriormente, la disminución del rendimiento debida a la salinidad del suelo puede considerarse como una respuesta lineal (Maas y Hoffman, 1977). Debido a esto, es posible obtener las ecuaciones de regresión correspondientes a la relación del rendimiento en función de la salinidad para ambas variedades, por el método de mínimos cuadrados. Las ecuaciones resultaron ser

$$R = 13.82 + (-2.42 \text{ CE})$$

para la variedad Flor de Mayo, y

$$R = 12.82 + (-3.42 \text{ CE})$$

para la variedad Negro 150, donde R = rendimiento en gramos de semilla/planta y CE = conductividad eléctrica del suelo en dS/m.

A partir de las ecuaciones anteriores, es posible obtener el valor de CE al cual el rendimiento se reduce a cero (CE<sub>0</sub>), resultando CE<sub>0</sub> = 5.66 para la variedad Flor de Mayo, y CE<sub>0</sub> = 3.58 para la variedad Negro 150. Am

Los valores muestran nuevamente diferencias en la tolerancia a la salinidad aún entre variedades muy sensibles. Ayers y Westcot (1976), señalan como valor de  $CE_o$  para el frijol el de 6.5 dS/m. No hablan sobre si ese valor co responde a alguna variedad, o si es un promedio, pero en cualquiera de los casos, las variedades aquí utilizadas son menos tolerantes.

Otra forma de evaluar la tolerancia de los cultivos a la salinidad, pero que no siempre se refleja en el rendimiento, es a través de la medición de la producción de biomasa por parte de la planta, expresada como peso seco. El peso seco promedio para la parte aérea de las plantas en los distintos tratamientos, en gramos, se presenta en el siguiente cuadro:

CE	Flor de Mayo	Negro 150
1.0	27.9	32.4
1.5	24.3	33.9
2.0	23.9	23.1
2.5	19.7	20.2
3.0	19.6	17.8
3.5	16.4	14.7
4.0	14.6	12.7

A partir de estos valores se observa que el efecto de la salinidad sobre la producción de materia seca es similar al efecto sobre el rendimiento en las variedades utilizadas, siendo más sensible la variedad Negro 150.

Tabla 5.2. Rendimiento (g de semilla/planta) de las variedades Flor de Mayo y Negro 150 en función de la salinidad del suelo.

CE (dS/m)	Flor de Mayo	Negro 150
1.0	110.0	117.3
1.5	97.2	60.6
2.0	81.8	36.7
2.5	71.8	28.2
3.0	58.1	16.2
3.5	46.3	8.5
4.0	39.0	5.1

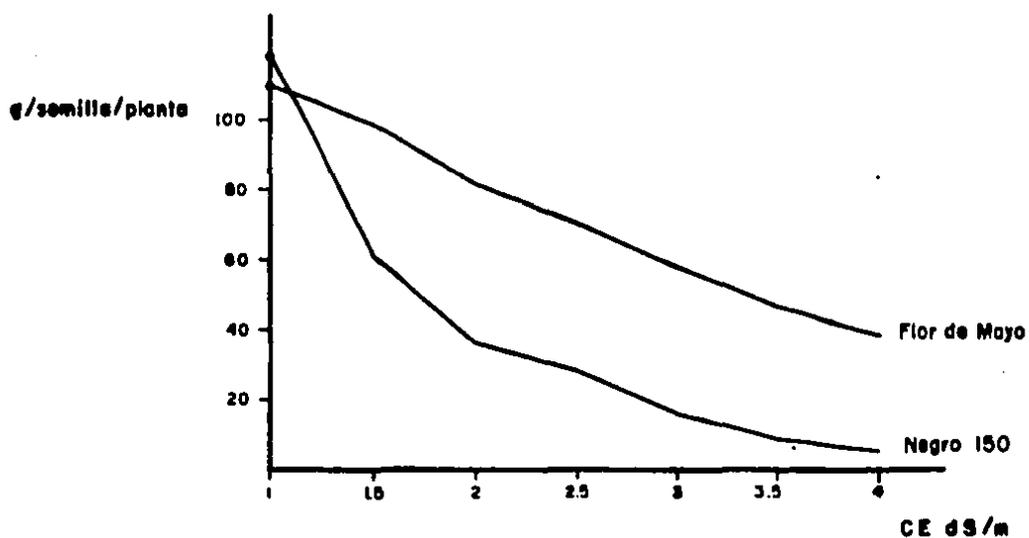


Figura 5.1. Representación gráfica de los datos de la tabla 5.2.

## C. ACUMULACION DE SODIO Y POTASIO

### TALLO (entrenudos)

#### Contenido de sodio

Los contenidos de sodio en los diferentes entrenudos de las plantas, evaluados con respecto al peso seco, variaron entre poco más de 300 ppm hasta casi 30 000 ppm. Los resultados correspondientes a cada tratamiento se muestran en los cuadros correspondientes en el apéndice I, y las gráficas correspondientes se presentan en el apéndice II. En los tratamientos I1, I2 e I4, se observó en ambas variedades un incremento en los contenidos de sodio de los entrenudos inferiores conforme aumenta la salinidad, aunque el aumento fué más marcado en la variedad Negro 150. En el tratamiento FI1, correspondiente a la variedad Flor de Mayo sometida a una conductividad eléctrica de 1 dS/m, los contenidos de sodio fueron bajos, entre 300 y 3 000 ppm, con los mayores valores en los entrenudos superiores, excepto el último, y en los inferiores (gráfica 01). Esta misma tendencia se mantuvo en el tratamiento FI2, con 2 dS/m, aunque las concentraciones correspondientes fueron superiores significativamente a las del tratamiento anterior, con valores oscilando entre 2 000 y 5 000 ppm (gráfica 02). En cambio, en el tratamiento FI4, con conductividad eléctrica de 4 dS/m, se alcanzaron valores muy altos en los entrenudos inferiores, de 10 000 a casi 30 000 ppm, y el último entrenudo fué también superior a los tratamientos anteriores, con 8 000 ppm (gráfica 03). Los tratamientos correspondientes para la variedad Negro 150 presentaron tendencias similares, pero con diferentes concentraciones. El tratamiento NI1 presentó la misma tendencia general en la distribución de sodio que el FI1, pero con concentraciones mayores, de 2 000 a 10 000 ppm; también se observaron los valores más altos en el penúltimo entrenudo, y reduciéndose en el último (gráfica 04). El tratamiento NI2 presentó valores aún mayores, e incluso superiores al tratamiento equivalente con la otra variedad, de 4 000 a 17 000 ppm, con las mayores concentraciones en los entrenudos inferiores (gráfica 05). La misma tendencia, pero con valores si-

milares a los de la otra variedad, se observó en el tratamiento NI4, alcanzando concentraciones de 10 000 a 30 000 ppm en los entrenudos del tercio inferior. Nuevamente se observa otro pico en el penúltimo entrenudo, como en los casos anteriores (gráfica 06).

Los tratamientos del tipo II presentaron algunas variantes. En el tratamiento FII2, al que se añadió una segunda capa de suelo con 2 dS/m, la distribución de sodio fué similar a la de los tratamientos del tipo I, pero las concentraciones fueron intermedias a las de los tratamientos FI2 y FI4, y similares a las del tratamiento NI2, con valores entre 2 000 y 17 000 (gráfica 07). En cambio, en el tratamiento FII4, al que se añadió una capa de 4 dS/m, las concentraciones fueron menores, de 1 000 a 7 000 ppm asemejándose mucho al tratamiento FI2 (gráfica 08). Los tratamientos equivalentes NII2 y NII4 presentaron concentraciones algo más altas, de 2 000 a 10 000 y 2 000 a 9 000 ppm, respectivamente, pero con la diferencia de que en estos tratamientos se presentó el pico en el penúltimo entrenudo, mientras que en los de la otra variedad, se presentó en el último entrenudo, siendo una diferencia significativa (gráfica 09 y 10).

Los tratamientos del tipo IV, a los que se elevó la concentración de sales, presentaron también tendencias similares en la distribución del sodio; el FIV2 tuvo concentraciones de 3 000 a 13 000 ppm, entre las del FI2 y el NI2, (gráfica 11), y el FIV4 las tuvo menores, de 1 000 a 5 000, semejantes a las del FI1 (gráfica 12). Las concentraciones del tratamiento NIV2 fueron muy similares a las del NII2, con valores de 3 000 a 15 000 ppm (gráfica 13), y las del NIV4 fueron también menores, como es el caso de la variedad Flor de Mayo, con valores de 1 000 a 5 000 ppm, muy parecidos al tratamiento FI1 (gráfica 14).

En los tratamientos del tipo III, que fueron retirados a los treinta días, el número de entrenudos fué menor, en general alrededor de 10, pero en mayor número en la variedad Flor de Mayo que en la Negro 150. Los tratamientos FIII1 y FIII2 presentaron distribuciones similares (gráficas 15 y 16), pero con mayores concentraciones en el segundo de ellos (de 2 000 a

10 000 en el primero, y de 3 000 a 20 000 ppm en el segundo), con las mayores concentraciones en el penúltimo entrenudo. En cambio, el tratamiento FIII4 tuvo las mayores concentraciones en los entrenudos inferiores, de hasta 16 000 ppm (gráfica 17). Los tratamientos equivalentes de la variedad Negro 150 tuvieron las mayores concentraciones en los entrenudos anteriores al último, aumentando con la salinidad, NIII1 con valores de 2 000 a 5 000, el NIII2 con valores de 2 000 a 20 000 (este último valor en el pico del penúltimo entrenudo), y el NIII4 de 7 000 a 20 000, con un aumento notable en los entrenudos intermedios (gráficas 18, 19 y 20).

Los contenidos de humedad en los entrenudos de los tratamientos de los tipos I, II y IV fueron similares, variando entre 63 y 75% en los primeros 15 entrenudos, y entre 80 y 90% en los tres últimos. Como se puede observar en los cuadros correspondientes, los contenidos de humedad disminuyeron levemente al incrementarse la salinidad en los distintos tratamientos, lo que ocasionó que las concentraciones de sodio expresado en función del peso fresco de las plantas fueron algo mayores en los tratamientos con mayor salinidad que los de menor salinidad, con respecto a las concentraciones de sodio expresadas en función del peso seco, sobre todo en los entrenudos inferiores. Sin embargo, estas variaciones en los contenidos de humedad no fueron significativas en la mayoría de los casos, y las distribuciones en general fueron las mismas, con las concentraciones de sodio variando entre 6 y 700 me/l (gráficas 41 a 60).

#### Contenido de potasio

Los contenidos de potasio en los entrenudos expresados en función del peso seco variaron entre 5 000 y 65 000 ppm. En los tratamientos FI1 y FI2, las distribuciones fueron similares a lo largo de todo el tallo, con una mayor acumulación en los entrenudos del primer tercio, y con bajas concentraciones en el penúltimo entrenudo; los valores en el primer tratamiento fueron de 5 000 a 30 000 ppm, y en el segundo, de 11 000 a 36 000 (gráficas 21 y 22). En el tratamiento FI4, en cambio, los valores fueron mayores, de 16 000 a 57 000 ppm, pero con mayor acumulación en los entrenudos del

tercio superior, aunque también con una disminución en los entrenados anteriores al último (gráfica 23). Por otra parte, los tratamientos equivalentes de la variedad Negro 150, tuvieron concentraciones algo diferentes (de 20 000 a 44 000 ppm en el tratamiento NI1, de 14 000 a 38 000 en el NI2 y de 11 000 a 45 000 en el NI4) pero se notan dos cambios notables en la distribución de potasio a lo largo del tallo; en primer lugar, los entrenados anteriores al último presentan altas concentraciones con respecto al último, y en segundo lugar, en los tratamientos NI1 y NI2 se observan dos picos, uno en el primer tercio y otro en el último tercio (figuras 24, 25 y 26).

En los tratamientos del tipo II correspondientes a la variedad Flor de Mayo se observan también los dos picos de los que se hablaba anteriormente, difiriendo la distribución de las observadas en los tratamientos del tipo L. En el tratamiento FII2, las concentraciones de potasio varían entre 30 000 y 51 000 ppm, y en el FII4, entre 28 000 y 60 000. En los tratamientos NII2 y NII4, las distribuciones son menos regulares; en el NII2, varían de 20 000 a 46 000 ppm, con mayor acumulación en el último tercio del tallo, mientras que en el NII4 varían de 60 000 a 42 000, con mayor acumulación en el primer tercio. Cabe señalar que en los tratamientos FII4 y NII4 los últimos entrenados tuvieron las concentraciones más bajas (gráficas 27, 28, 29 y 30).

Los tratamientos FIV2 y FIV4 mostraron poca variación en la distribución de potasio a lo largo del tallo, el primero con concentraciones de 26 000 a 39 000 ppm, y el segundo con concentraciones menores, de 12 000 a 20 000 ppm, a excepción del último entrenado, que alcanzó un valor de 34 000 ppm (gráficas 31 y 32). El tratamiento NIV2 tuvo mayor acumulación en la porción central, variando de 9 000 a 33 000 ppm, mientras que el NIV4 tuvo poca variación, de 23 000 a 39 000 ppm (gráficas 33 y 34). En todos los tratamientos de este grupo se observó menor contenido de potasio en los entrenados anteriores al último, con respecto a éste.

En los tratamientos del grupo III se observan nuevamente dos picos de potasio. La distribución y concentraciones en los tratamientos corres-

pondientes a la variedad Flor de Mayo son muy similares entre sí (gráficas 35, 36 y 37); el tratamiento FIII1 adquiere valores entre 41 000 y 66 000 ppm (a excepción del último entrenado, con sólo 8 000); el FIII2 varía entre 34 000 y 66 000 (17 000 en el último), y el FIII4 varía entre 35 000 y 64 000 (25 000 en el último). En los tratamientos NIII1 y NIII2, el primer pico se presenta en los primeros entrenados (gráficas 38 y 39), con valores de 33 000 a 48 000 ppm el primero, y de 17 000 a 47 000 el segundo. El tratamiento NIII4 en cambio, merece atención por ser el que tuvo las menores concentraciones de potasio de este grupo, las cuales variaron de 7 000 a 19 000 ppm (gráfica 40).

En función del peso fresco de la planta, las concentraciones de potasio siguieron también en general las mismas distribuciones observadas con respecto al peso seco, pero con la misma observación realizada para el caso del sodio; en general, los menores contenidos de agua de los entrenados inferiores llevaron a que en ellos las concentraciones de potasio fueran más elevadas en relación a los entrenados superiores, si se comparan con las distribuciones en función del peso seco (gráficas 61 a 83).

#### Relación $\text{Na}^+/\text{K}^+$

Considerando las mayores concentraciones de potasio con respecto al sodio en la mayoría de los tratamientos y entrenados, el valor de la relación sodio/potasio presentó en general valores bajos, inferiores a 1, a excepción de algunos entrenados de tratamientos sometidos a mayores grados de salinidad. Considerando en primer lugar los valores alcanzados por este parámetro en función de los contenidos de sodio y potasio con respecto al peso seco del material vegetal, en el tratamiento FI1, de la variedad Flor de Mayor, los valores de esta relación fueron muy bajos, de 0.04 a 0.14, con los valores más altos en los entrenados anteriores al último. En el tratamiento NI2 tuvo también la misma tendencia del FI2, pero con valores también del doble, de 0.20 a 0.77. Y es en el tratamiento NI4 donde se alcanzan los mayores valores de relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , de hasta 2.59, en los entrenados inferiores, más alta que el FI4, aunque con distribución similar. (Gráficas 84, 85 y 86).

En los tratamientos del grupo II, el FII2 mostró similitud con el FI2, con valores de 0.07 a 0.50 (gráfica 87); en cambio, el FII4 mostró valores muy bajos, de 0.02 a 0.19, excepto en el último entrenudo, que alcanzó 0.73 (gráfica 88). Nuevamente, los tratamientos de la variedad Negro 150 mostraron distribuciones similares de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  a lo largo del tallo, pero con valores mayores, de 0.06 a 0.45 en el NII2, y de 0.07 a 0.88 en el NII4 (gráficas 89 y 90).

Los tratamientos FIV2 y FIV4 se mostraron similares, con valores de 0.11 a 0.37 en el primero de ellos, y de 0.06 a 0.24 en el segundo (gráficas 91 y 92). En cambio, los tratamientos NIV2 y NIV4 mostraron considerable diferencia entre sí, con valores elevados en el primero de ellos, de hasta 1.87, mientras que el segundo presentó valores muy bajos, de 0.04 a 0.14 (gráficas 93 y 94).

En los tratamientos de tipo III, la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  se incrementó al aumentar la salinidad. En el FIII1, los valores variaron entre 0.03 y 0.65, con los valores más altos en el último tercio (gráfica 95). En el FIII2, fueron de 0.06 a 0.61, con la misma distribución (gráfica 96), y en el FIII4, de 0.08 a 0.45, con los más altos en el primer tercio (gráfica 97). En el tratamiento NIII1, los valores fueron bajos, de 0.05, a 0.11, aumentando en el NIII2, de 0.08 a 0.77, y en el NIII4 fueron muy elevados, de hasta 2.65 (gráficas 98, 99 y 100).

Los valores de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  expresados en miliequivalentes por litro en función del contenido de humedad de la planta, fueron prácticamente idénticos en la distribución a lo largo del tallo a los valores expresados en función del peso seco, pero aproximadamente al doble, debido a la relación entre los pesos equivalentes del sodio y el potasio (23 contra 40). Debido a esto, se puede observar en las gráficas correspondientes (de la 101 a la 120) que los valores de relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  expresados de esta manera alcanzan frecuentemente valores superiores a 1, y llegando a ser hasta de 4.

## PECÍOLOS

### Contenido de sodio

Los contenidos de sodio en los pecíolos, expresados en partes por millón con respecto a la materia seca, fueron mayores que los observados en los entrenudos, con un rango de variación desde 3 000 hasta 40 000 ppm. En el tratamiento FI1, de la variedad Flor de Mayo, variaron de 3 000 a 11 000 ppm, con mayores concentraciones en el último tercio; la misma distribución se observó en el FI2, pero con concentraciones de 5 000 a 14 000 ppm, mientras que en el FI4 los valores fueron algo menores, de 4 000 a 11 000 ppm, con valores elevados en el primer y en el último tercio de la planta (gráficas 01 a 03). Los tratamientos correspondientes a la variedad Negro 150 tuvieron valores más elevados, y concentrados en el primer tercio de la planta. En el NI1, los valores oscilaron entre 4 000 y 10 000 ppm, en el NI2 entre 5 000 y 20 000, y en el NI4, entre 4 000 y 25 000; adicionalmente, se observó en los tres casos un pico en los pecíolos anteriores al último (gráficas 03, 04 y 05).

En los tratamientos FII2 y FII4, las concentraciones de sodio fueron las más elevadas de todas las partes aéreas de la planta, alcanzando valores de 7 000 a 20 000 ppm en el FII2, y de 8 000 a 40 000 en el FII4. Cabe mencionar que en este último el valor más alto correspondió al pecíolo más alto (gráficas 07 y 08). El tratamiento NII2 fué muy similar al FII4, con valores de 6 000 a 40 000, siendo también el valor más alto el del último pecíolo (gráfica 09). En el NII4, en cambio, los valores fueron menores, de 4 000 a 19 000 ppm, pero también el valor más alto correspondió al último pecíolo (gráfica 10).

Los valores de sodio en los tratamientos FIV2 y FIV4 fueron también más altos que los del resto de las partes aéreas. En el FIV2, alcanzaron valores de 6 000 a 13 000 ppm, mientras que en el FIV4 fueron de 4 000 a 30 000; en ambos casos se observó que las mayores concentraciones se alcanzaron en los tercios inferior y superior, aunque más pronunciadas en el FIV4 (gráficas 11

y 12). Lo mismo se observa en la distribución correspondiente a los tratamientos NIV2 y NIV4, con valores de 5 000 a 25 000 ppm en el primero de ellos, y de 1 000 a 14 000 en el segundo, con los valores más altos en el último pecíolo (gráficas 13 y 14).

En los tratamientos FIII1, y FIII2 y FIII4 también se observaron las mayores acumulaciones en el primer y último tercios de la planta, aunque las concentraciones aumentaron con el grado de salinidad. En el FIII1, variaron de 3 000 a 11 000 ppm; en el FIII2, de 4 000 a 13 000, y en el FIII4, de 4 000 a 20 000, observándose las mayores concentraciones en el pecíolo terminal (gráficas 15 a 17). El tratamiento NIII1 presentó una distribución similar a las anteriores, con valores de 4 000 a 11 000 ppm, (gráfica 18), mientras que el NIII2 presentó valores de 6 000 a 31 000 ppm, concentrados en el primer tercio, y el NIII4, de 3 000 a 32 000, concentrados en la parte media de la planta; si bien en estos dos últimos los pecíolos terminales no tuvieron los valores más altos, sí se observa un aumento significativo sobre los inmediatamente anteriores (gráficas 19 y 20).

Los contenidos de humedad en los pecíolos fueron más altos que los observados en los tallos, oscilando en general entre 80 y 92% en los pecíolos terminales, y entre 75 y 80% en el resto. Al igual que con los entrenudos, estos valores fueron muy similares a lo largo de la planta, y por esta razón las concentraciones de sodio expresadas en me/l siguieron distribuciones similares a las expresadas en función del peso seco, aunque los mayores contenidos de humedad en los pecíolos, en comparación con los entrenudos reducen las concentraciones en los pecíolos, reduciendo las diferencias de concentración entre ellos y los entrenudos, en comparación con los valores expresados en función del peso seco. En general, los valores de sodio expresado en función del peso fresco oscilaron entre 11 y 320 me/l. (Gráficas 41 a 60).

#### Contenido de potasio

Los contenidos de potasio en los pecíolos fueron también en general mayores que los observados en los entrenudos, y una característica frecuente

es la presencia de dos picos en la concentración, uno en el primer tercio y otro en el último, distribución que se pudo observar también en los entrenudos de algunos tratamientos. En el tratamiento FI1, los valores oscilaron de 33 000 a 80 000 ppm, en el FI2, de 23 000 a 51 000 y en el FI4, de 14 000 a 65 000; se observaron los dos picos claramente en los dos últimos tratamientos, mientras que el primero tiene un pico mayor en el primer tercio (gráficas 21 a 23). El tratamiento NI1 tuvo una distribución similar al FI1, con valores de hasta 82 000 ppm concentrados en el primer tercio (gráfica 24); en cambio, los tratamientos NI2 y NI4 presentaron los dos picos también observados en los tratamientos anteriores, con valores de 20 000 a 55 000 en el primero, y de 3 000 a 57 000 en el segundo (gráficas 25 y 26); en los tratamientos de ambas variedades que mostraron los dos picos referidos, los pecíolos terminales tuvieron concentraciones bajas.

Los tratamientos correspondientes al grupo II mostraron todos la misma distribución con dos picos en los tercios inferior y superior. Los valores en el tratamiento FII2 variaron entre 35 000 y 68 000; en el FII4, entre 11 000 y 74 000; en el NII2, entre 19 000 y 78 000, y en el NII4 fueron los más bajos, de 7 000 a 53 000 (gráficas 27 y 30). Exceptuando al FII2, los valores más bajos se presentaron en el pecíolo terminal.

El tratamiento FIV2 presentó valores de 28 000 a 53 000 ppm, con la mayor acumulación en la parte media (gráfica 31). El FIV4, en cambio, presentó los mismos dos picos, con valores de 30 000 a 81 000 ppm (gráfica 32). Los tratamientos NIV2 y NIV4 presentaron también los dos picos, con las concentraciones de potasio variando entre 7 000 y 81 000 ppm en el primero de ellos, y entre 18 000 y 58 000 en el segundo (gráficas 33 y 34).

Los tratamientos del grupo III correspondientes a la variedad Flor de Mayo presentaron acumulaciones muy altas de potasio, sobre todo en la mitad inferior de la planta, con concentraciones similares, de 3 000 a 98 000 ppm en el FIII1, de 3 000 a 95 000 en el FIII2, y de 7 000 a 96 000 en el FIII4; los valores más bajos se presentaron en el último pecíolo, en los tres casos (gráficas 35 a 37). La misma situación se presentó en el tratamiento NIII1, con valores de 7 000 a 90 000 ppm, pero en los tratamientos NIII2 y NIII4,

las concentraciones fueron de 11 000 a 80 000 ppm en el primero, y de 1 000 a 56 000 en el segundo, concentradas en los pecíolos inmediatamente anteriores al último (gráficas 38 a 40).

Al igual que con el sodio, las concentraciones de potasio expresadas con respecto al peso fresco del tejido vegetal siguieron distribuciones similares a las observadas expresando el sodio con respecto al peso seco, debido a la poca variación con el contenido de humedad entre los varios pecíolos de la planta, y sólo acentuándose en los pecíolos terminales, que contenían más agua y en los cuales las concentraciones fueron, por tanto, menores, con respecto a las de pecíolos inferiores. Los valores de potasio expresados en me/l oscilaron en general entre 7 y 582 me/l (gráficas 61 a 80).

#### Relación $\text{Na}^+/\text{K}^+$

En la mayoría de los casos, los altos contenidos de potasio con respecto al sodio ocasionaron que los valores de la relación sodio/potasio fueran bajos. En los tratamientos del grupo I, para la variedad Flor de Mayo, el comportamiento de esta relación a lo largo de la planta fué similar, con valores de 0.07 a 0.32 para el tratamiento FI1, 0.12 a 0.46 para el FI2 y 0.10 a 0.33 para el FI4, observándose los mayores valores en los pecíolos anteriores al último (gráficas 81 a 83). Con la variedad Negro 150, el tratamiento NI1 mostró una tendencia similar a los anteriores, adquiriendo valores de 0.10 a 0.22. Sin embargo, los siguientes tratamientos mostraron un aumento notable, el NI2 con valores de 0.14 a 0.64, y el NI4 con valores de 0.25 a 2.13, en ambos casos presentando los valores más altos en el primer tercio de la planta, y en el último pecíolo (gráficas 84 a 86).

En el grupo II, el tratamiento FII2 mostró una tendencia similar al FI4, con valores de 0.11 a 0.48, mientras que el FII4 mostró incrementos en el primer y último tercios de la planta, adquiriendo valores de 0.13 a 0.66 (gráficas 87 y 88). El NII2 presentó valores bajos, de 0.09 a 0.33, excepto en el último pecíolo, que alcanzó un valor de 2.03. El NII4 presentó un caso similar, con valores más elevados, de 0.15 a 1.02 en los pecíolos inferiores al último, el cual tuvo un valor de 2.66. (Gráficas 89 y 90).

Los tratamientos FIV2 y FIV4 presentaron tendencias similares, con los mayores valores en el primer y último tercios de la planta, el primero de ellos variando entre 0.12 y 0.51, y el segundo entre 0.05 y 0.79 (gráficas 91 y 92). El tratamiento NVI4, de la variedad Negro 150, mostró una tendencia similar a la de los anteriores NII2 y NII4, con valores de 0.07 a 0.61 en los pecíolos anteriores al último, el cual mostró un gran incremento, de 3.43 (gráfica 93); en cambio, el NIV4, aún cuando tuvo una tendencia similar, mostró valores bajos, de 0.84 en el último pecíolo contra 0.02 a 0.30 en el resto (gráfica 94).

Esta misma tendencia de que el último pecíolo tuviera un valor muy elevado con respecto a los demás se observó mucho más marcada en los tratamientos del grupo III. En el FIII1, FIII2 y FIII4, los valores en los pecíolos terminales fueron 4.02, 5.36 y 5.00, respectivamente, contra valores de 0.04 a 0.19, 0.06 a 0.32 y 0.08 a 0.18 en los demás pecíolos de cada tratamiento (gráficas 95 a 97). El tratamiento NIII1 tuvo una distribución similar aunque menos marcada, con valores de 1.52 para el pecíolo terminal y 0.07 a 0.25 para el resto, mientras que para los tratamientos NIII2 y NIII4 se observaron aumentos significativos en los pecíolos inferiores, también, alcanzando valores de 0.08 a 1.17 y de 0.12 a 25.32, respectivamente (gráficas 98 a 100).

Los valores de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  expresados en función del peso fresco de la planta fueron también similares en distribución a los anteriormente expuestos para cada tratamiento, aunque mostrando valores que en general oscilaron entre 0.06 y 43 (gráficas 101 a 120).

## HOJAS (láminas)

### Contenido de sodio

Los contenidos de sodio expresado en función del peso seco, para el caso de las hojas fueron en general bajos, siendo en muchos tratamientos los más bajos de toda la parte aérea, comparándolos con los entrenudos y pecíolos. Los valores oscilaron en general entre 600 y 15 000 ppm. En los tratamientos FI1, FI2, y FI4, las concentraciones de sodio tendieron a ser mayores en las hojas inferiores, aumentando con el incremento en salinidad, con valores de 600 a 5 000 ppm en el FI1, de 1 000 a 6 000 en el FI2 y de 2 000 a 7 000 en el FI4 (gráficas 01 a 03). En los tratamientos NI1, NI2 y NI4 se observó también un aumento en las hojas terminales, con valores de 2 000 a 5 000 ppm en el NI1 y en el NI2, y 1 000 a 9 000 ppm en el NI4 (gráficas 04 a 06).

Los valores de sodio en los tratamientos del grupo II fueron más elevados; en el FII2, alcanzaron valores de 4 000 a 6 000 ppm, y en el FII4 de 3 000 a 9 000, con los valores más elevados en hojas del último tercio de la planta (gráficas 07 y 08). En los tratamientos NII2 y NII4, en cambio, los valores más altos se alcanzaron en la última hoja, con valores de 14 000 y 15 000 ppm, respectivamente, contra rangos de 2 000 a 4 000 ppm en el primer caso, y de 4 000 a 8 000 en el segundo (gráficas 09 y 10).

En los tratamientos FIV2 y FIV4 también los valores más altos se encontraron en la última hoja, con valores de 7 000 a 5 000 ppm, contra valores de 2 000 a 4 000 y de 700 a 3 000 en el resto de hojas, respectivamente (gráficas 11 y 12). Los tratamientos NIV2 y NIV4 no presentaron esta distribución, adquiriendo valores de 2 000 a 6 000 y de 1 000 a 4 000 ppm, en ese orden (gráficas 13 y 14).

En el tratamiento FIII1, las concentraciones oscilaron entre 1 000 y 9 000 ppm, con un aumento significativo en las hojas anteriores a la última (gráfica 15). Los tratamientos FIII2 y FIII4 no mostraron esto, con valores

de 2 000 a 4 000 el primero, y de 900 a 2 000 el segundo (gráficas 16 y 17). El tratamiento NIII1 fué similar al FIII1, con valores de 1 000 a 13 000 ppm, encontrándose los mayores en las hojas previas a la última (gráfica 18). El tratamiento NIII2 presentó una distribución uniforme con valores de 1 000 a 3 000 ppm (gráfica 19), pero el NIII4 observó un incremento en el último tercio, con valores de 2 000 a 6 000 ppm (gráfica 20).

Los contenidos de humedad en las hojas oscilaron entre 80 y 92%, sin mostrar diferencias significativas entre las hojas de diferentes niveles en la mayoría de los casos; esta uniformidad en los niveles de humedad ocasionó que los contenidos de sodio, expresados en función del peso fresco, presentaran una distribución muy parecida a las señaladas anteriormente, a excepción de algunos casos de hojas jóvenes y del grupo de tratamientos III, que tuvieron contenidos altos de humedad, comparados con un bajo contenido de materia seca, y en las cuales las concentraciones de sodio expresado en me/l fueron menores al del resto de las hojas, en comparación con los valores expresados en ppm, como en los tratamientos NII4 (comparar gráficas 10 y 50), o NI2 (gráficas 05 y 45). Los valores de sodio expresado en función del peso fresco oscilaron entre 5 y 76 me/l. (gráficas 41 a 60).

#### Contenido de potasio

En la mayoría de los tratamientos se observó un incremento en el contenido de potasio en las hojas superiores con respecto a las inferiores; también, en algunos casos se observaron los dos picos de concentración que se habían mencionado anteriormente para otras partes aéreas. Las concentraciones de potasio expresado en función del peso seco, en general variaron entre 1 000 y 64 000 ppm. En el tratamiento FI1, los valores oscilaron desde 7 000 ppm en las hojas inferiores, hasta 37 000 en las superiores. En el FI2, los valores fueron de poco más de 2 000 en las inferiores, hasta más de 41 000 en las superiores (gráficas 21 y 22). En el tratamiento FI4 se observaron dos picos de concentración, en la parte media y en la final, con valores entre 7 000 y 39 000 ppm (gráfica 23). Resultados equivalentes se observaron con la variedad Negro 150, pero en menores concentraciones. Los tratamientos NI1 y

NI2 presentaron la misma tendencia que el FI1 y el FI2, pero con concentraciones de potasio de 10 000 a 21 000 en el primero, y de 4 000 a 25 000 en el segundo (gráficas 24 y 25). El tratamiento NI4 fué parecido al FI4, con los dos picos de concentración; alcanzó valores de 1 000 a 34 000 ppm (gráfica 26).

Los tratamientos del grupo II presentaron también mayores concentraciones en las hojas superiores. En el FII2, se alcanzaron valores de 13 000 a 64 000 ppm, pero en el FII4 las concentraciones fueron menores, de 5 000 a 17 000 solamente (gráficas 27 y 38). También alcanzó mayores concentraciones el tratamiento NII2 que el NII4, con valores de 12 000 a 37 000 el primero, y de 2 000 a 15 000 ppm el segundo (gráficas 29 y 30).

El mismo aumento en las concentraciones de potasio en las hojas superiores se observó en los tratamientos del grupo IV. El FIV2 alcanzó valores de 9 000 a 37 000 ppm, mientras que el FIV4 osciló entre 5 000 y 34 000 (gráficas 31 y 32). El NIV2 presentó valores de entre 3 000 y 28 000, y el NIV4, entre 14 000 y 40 000 ppm (gráficas 33 y 34).

En los tratamientos del grupo III, se observó un aumento en el contenido de potasio en las hojas superiores, pero disminuyendo al llegar a la última. En el FIII1, los valores fueron sólo de poco menos de 8 000 ppm en la última hoja, contra un rango de 31 000 a 50 000 en las demás (gráfica 35). En el FIII2, los valores fueron de 4 000 a 41 000, con los valores más reducidos en la primera y última hoja (gráfica 36). En el FIII4, las concentraciones oscilaron entre 20 000 y 49 000 ppm, con los valores más altos en las hojas anteriores a la última (gráfica 37). En los tratamientos NIII1 y NIII2 se observaron situaciones similares, con valores de 10 000 a 46 000 en el primer caso, y de 25 000 a 41 000 en el segundo (gráficas 38 y 39). El tratamiento NIII4, en cambio, presentó valores muy bajos de potasio, de 9 000 a 19 000 ppm (gráfica 40).

En los resultados de potasio expresado en me/l en función del peso fresco, las consideraciones realizadas para el caso del sodio son también válidas, y los mayores cambios se observaron en las hojas con mayores conteni-

dos de humedad, particularmente dentro de los tratamientos del grupo III. Los valores de potasio expresados en me/l oscilaron entre 6 y 205 (gráficas 61 a 80).

#### Relación $\text{Na}^+/\text{K}^+$

Considerando la tendencia observada en las hojas consistente en la presencia de mayores concentraciones de potasio en las hojas de niveles superiores, y con menores concentraciones en las hojas inferiores, no es extraño que en estas últimas se presentaran los mayores valores de relación sodio/potasio. Lo mismo ocurrió en las últimas hojas de algunos tratamientos, donde los contenidos de potasio fueron bajos. De este modo, en los tratamientos del grupo I, la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  fué alta en las hojas inferiores, disminuyendo conforme se ascendía hacia hojas superiores; también se observó que los valores de esta relación aumentaron en tratamientos con mayor salinidad. En el tratamiento FI1, los valores variaron de 0.04 a 0.80; en el FI2, de 0.06 a 1.39, y en el FI4, de 0.06 a 0.81 (gráficas 81 a 83). En el NI1, los valores máximos fueron los más bajos de este grupo, con un rango de 0.17 a 0.30 (gráfica 84); el tratamiento NI2 presentó valores de 0.17 a 0.95, y el NI4, de 0.05 a 4.51, el más alto de este grupo (gráficas 85 y 86).

En los tratamientos del grupo II, se observaron los valores más altos en las hojas inferiores, pero también en las superiores. En el FII2, los valores de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  variaron de 0.07 a 0.51, aumentando en el FII4, de 0.26 a 1.17 (gráficas 87 y 88). El tratamiento NII2 fué similar al FII2, con valores de 0.06 a 0.58 (gráfica 89); pero el tratamiento NII4 tuvo valores muy altos, de hasta más de 5 en las hojas inferiores, y de 1.26 en la última (gráfica 90).

Los tratamientos del grupo IV presentaron también en su mayoría valores más altos en las hojas inferiores y en la última; en el FIV2, los valores alcanzados fueron bajos de 0.07 a 0.42; en el FIV4, de 0.03 a 0.66 (gráficas 91 y 92); en el NIV2, fueron mayores, de 0.15 a 1.78, y en el NIV4, bajos nuevamente, de 0.04 a 0.28 (gráficas 93 y 94).

Considerando los altos contenidos de potasio en las hojas de los tratamientos del grupo III, no es raro observar los reducidos valores de relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  encontrados. En el tratamiento FIII1, oscilaron entre 0.03 y 0.54; en el FIII2, entre 0.06 y 0.87, y en el FIII4, entre 0.02 y 0.07 (gráficas 95 y 97). En el NIII1, variaron entre 0.02 y 0.45, en el NIII2, entre 0.04 y 0.11, y en el NIII4, entre 0.12 y 0.70; los valores más altos de relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en este grupo coinciden con los valores más bajos de potasio observados.

Los valores de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en función de las concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  expresadas en me/l oscilaron entre 0.06 y 9.09 (gráficas 101 a 120). Las distribuciones fueron similares a las descritas anteriormente.

## RAIZ

### Contenido de sodio

Los contenidos de sodio en la raíz variaron de 5 000 a casi 14 000 ppm.

En la variedad Flor de Mayo, el contenido de sodio en la raíz para los tratamientos del grupo I alcanzó valores de poco más de 8 000 ppm en el FI1, y de 13 000 para los tratamientos FI2 y FI4. En la variedad Negro 150 estos valores fueron similares en magnitud, con 7 000 ppm para el NI1, 11 000 para el NI2 y 15 000 ppm para el NI4.

Para los tratamientos del tipo II, en ambas variedades se observa un mayor contenido de sodio en el tratamiento II2 que en el II4 (11 000 contra 6 800 ppm, para el FII2 y el FII4, y 10 000 contra 8 700 para el NII2 y el NII4, respectivamente). La misma situación prevalece en los tratamientos del grupo IV, donde el FIV2 presentó un contenido de sodio de 10 300 ppm, y el FIV4 de sólo 5 200, y el NIV2 tuvo 10 500 contra 8 900 ppm del NIV4. Aparentemente, los cambios en salinidad de estos tratamientos redujeron la acumulación de sodio en las raíces, al aumentar la salinidad tanto en el tiempo como en el espacio, a diferencia de los tratamientos del grupo I, donde el amento en salinidad propició una acumulación de sodio en la raíz.

En los tratamientos del grupo III se observó la misma tendencia que en los del grupo I. Con la variedad Flor de Mayo, el tratamiento FIII1 tuvo un contenido de sodio de 5 700 ppm, el FIII2, de 12 600 y el FIII4 de 15 300; e igualmente, en la variedad Negro 150, el NIII1 tuvo 5 700 ppm, el NIII2, 10 200, y el NIII4, 20 000 ppm.

### Contenido de potasio

Los contenidos de potasio en raíces oscilaron entre poco más de 2 000 y poco más de 43 000 ppm.

En los tratamientos del grupo I, con la variedad Flor de Mayo, se observó una marcada reducción en el contenido de potasio al aumentar la salinidad, de 34 000 ppm en el tratamiento FI1, a 8 100 en el FI2 y a sólo 2 300 en el FI4. Una tendencia similar pero menos marcada, se observó con la variedad Negro 150, que presentó 31 000 ppm en el tratamiento NI1, bajando a 16 700 en el NI2 y a 5 600 en el NI4.

Con el grupo II de tratamientos, los contenidos de potasio en la variedad Flor de Mayo fueron muy bajos, de 4 000 ppm en el FII2, y de 6 900 en el FII4; en cambio, con la variedad Negro 150 los valores en el tratamiento NI2 fueron altos, de 31 000 ppm, bajando a 8 400 en el NII4. En los tratamientos del grupo IV los valores fueron un poco mayores, con 11 800 para el tratamiento FIV2 y 7 100 para el FIV4 de la variedad Flor de Mayo, y para la Negro 150, de 9 200 en el NIV2 y 30 000 en el NIV4. En estos grupos de tratamientos se observaron contenidos de potasio más bajos que los del grupo I, siendo esta disminución más marcada en la variedad Flor de Mayo.

Los tratamientos del grupo III, retirados a los 30 días de desarrollo, mostraron en ambas variedades una disminución en su contenido de potasio al aumentar la salinidad, pero este contenido es mucho mayor que en los del grupo I. En la variedad Flor de Mayo, alcanzaron valores de 43 000 ppm en el tratamiento FIII1, de 22 800 en el FIII2 y de 15 000 en el FIII4, y con la variedad Negro 150 los valores fueron de 26 700 ppm en el NIII1, de 20 900 en el NIII2 y de 19 300 en el NIII4. Estos altos valores podrían obedecer en parte a la mayor actividad metabólica de las raíces en esta etapa temprana del desarrollo; pero es interesante notar cómo varía el contenido de potasio después de los 30 días, según el tratamiento posterior de salinidad, al comparar estos valores con los de los grupos de tratamientos I, II y IV.

#### Relación $\text{Na}^+/\text{K}^+$

La relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  mostró cambios notables en los distintos tratamientos, debidos a los cambios observados tanto en los contenidos de sodio como en los de potasio.

En los tratamientos del grupo I, con salinidad constante, aumentó al incrementarse ésta; en la variedad Flor de Mayo, tuvo valores de 0.28 para el FI1; 1.69 para el FI2 y 3.75 para el FI4. Por otro lado, la variedad Negro 150 tuvo la misma tendencia pero con valores menores: 0.23 para el NI1, 0.62 para el NI2, y 1.89 para el NI4.

La variedad Flor de Mayo en los tratamientos del grupo II tuvo valores de relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  de 2.70 y 0.98 para el FII2 y FII4, respectivamente, y la Negro 150, de 0.31 para el NII2, y 1.03 para el NII4. Con los tratamientos del grupo IV, los valores fueron 0.87 y 0.73 para el FIV2 y el FIV4, de la variedad Flor de Mayo y de 1.13 y 0.29 para el NIV2 y el NIV4, de la Negro 150, respectivamente.

Con los tratamientos del grupo III, debido a que presentaron tendencias similares a los del grupo I en sus contenidos de sodio y potasio, no es de extrañar que la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  tenga también tendencias similares, aunque con valores inferiores, lo cual revela mayor movimiento de potasio que de sodio al brote en las etapas posteriores del desarrollo. En la variedad Flor de Mayo, los valores observados fueron 0.13 para el tratamiento FIII1, 0.55 para el FIII2 y 1.0 para el FIII4. Para la variedad Negro 150, fueron de 0.21 para el NIII1, 0.48 para el NIII2 y 1.05 para el NIII4; como se observa, en esta etapa del desarrollo estos valores no difieren mucho entre ambas variedades.

Debido a la metodología utilizada para obtener las raíces, lavándolas con agua, no se consideró adecuado efectuar mediciones de su contenido de humedad, de modo que los contenidos de sodio y potasio sólo se expresaron en función del peso seco.

## 6. DISCUSION

### A. Efecto de los niveles de salinidad

En el caso de los tratamientos del tipo I, con grados crecientes de salinidad, se pudo observar que en general, la acumulación de sodio fué mayor en los entrenudos inferiores, incrementándose también en los entrenudos superiores al aumentar la salinidad. La variedad que resultó ser la más tolerante, Flor de Mayo, presentó menor acumulación de sodio que la variedad menos tolerante, Negro 150; puesto que se observa en las gráficas correspondientes que el sodio va ascendiendo en la planta al incrementarse la salinidad, estos resultados están de acuerdo con lo encontrado por Jacobi (1964, 1965), donde este autor propone que los tallos retienen sodio; también se observa que en las raíces los contenidos de sodio aumenta, pero este aumento es mayor en la variedad Flor de Mayo; podría concluirse que las raíces de esta variedad son más eficientes en la retención de sodio, que las de la variedad Negro 150, ya que los niveles de sodio en los entrenudos en la primera variedad aumentan notablemente sólo con 4 dS/m de conductividad eléctrica, mientras que en la segunda, aumentan notablemente con sólo 2 dS/m; incluso, con el valor de 1 dS/m, es ya mayor la concentración de sodio en la variedad Negro 150. Asimismo, en las raíces se observan mayores concentraciones de sodio en la variedad Flor de Mayo que en la Negro 150, para niveles iguales de salinidad.

Los contenidos de potasio mostraron valores similares en los entrenudos, aunque presentaron una tendencia a acumularse más en los tercios inferior y superior; la razón de esta tendencia podría deberse al hecho de que en el primer tercio de la planta surgen la mayoría de las ramificaciones laterales, mientras que en la parte superior están en pleno desarrollo las flores, aspectos que indicarían mayor actividad metabólica. En los tratamientos de mayor salinidad se observó que el potasio se movía más hacia arriba, probablemente relacionándose esto a la necesidad de la planta de reducir la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  la cual tendió a ser baja en los entrenudos superiores con respecto a los inferiores.

En las raíces de ambas variedades se observó un incremento en el valor de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  conforme aumentaba la salinidad, aunque más pronunciado en el caso de la variedad Flor de Mayo; sin embargo, este aumento no se debió tan sólo a un aumento en el contenido de sodio de las raíces (que proviniera de la retención en ellas del sodio absorbido, o de sodio proveniente del brote), sino también a una reducción neta del contenido de potasio de la raíz.

El pensar que la planta tiene una necesidad de mantener una relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  baja en sus partes aéreas, más que de tener un contenido alto de  $\text{K}^+$  bajo de  $\text{Na}^+$ , ha sido planteado por numerosos autores (Wyn Jones et al, 1979), y el hecho de que en las raíces se observe en ambas variedades que la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  aumenta por cambios tanto en el sodio como en el potasio puede reforzar este punto de vista; no sólo se retiene en la raíz el sodio absorbido, sino que además, se envía más potasio al brote conforme aumenta la salinidad. Desde este punto de vista, la variedad Flor de Mayo, la más tolerante, resulta también más eficiente, es capaz de retener más sodio en la raíz, y al mismo tiempo es capaz de enviar más potasio al tallo que la variedad Negro 150. Esta característica se observa desde que la planta es joven, ya que en los tratamientos del grupo III, con los mismos niveles de salinidad pero retirados a los treinta días, se observa que las raíces presentan ya la misma tendencia de incrementar su contenido de sodio, reduciendo el de potasio; y si bien no existe mucha diferencia en la acumulación de sodio entre los entrenudos de ambas variedades, sí es notable el menor contenido de potasio en los entrenudos de la variedad Negro 150, en esta etapa temprana de su desarrollo.

Los contenidos de sodio en las láminas de las hojas tendieron a permanecer bajos en ambas variedades, aumentando ligeramente con el incremento la salinidad. Sin embargo, en los pecíolos si se observó un notable incremento en el contenido de sodio, incluso mayor que el observado en los entrenudos, lo cual lleva a pensar que los pecíolos juegan un papel muy importante al retener sodio impidiendo su llegada a las láminas foliares. Fué mayor la acumulación de sodio en los pecíolos de la variedad Negro 150, lo cual podría deberse a la menor retención de este ión en los entrenudos de esta varie

dad; en cambio, con la variedad Flor de Mayo, que retiene más sodio en los entrenudos, los contenidos de sodio en los pecíolos fueron menores. En los tratamientos del grupo III los niveles de sodio en los pecíolos fueron mayores aún, especialmente en los pecíolos inferiores y los superiores, debido probablemente al menor contenido de materia orgánica en esta etapa del desarrollo.

En lo que respecta a los niveles de potasio en las hojas, se observó una mayor concentración en las hojas superiores; es un hecho conocido que el potasio es un nutriente móvil en las plantas, y que se mueve a los sitios de mayor actividad metabólica, como son las hojas jóvenes y en desarrollo. En general se presentó un incremento en el contenido de potasio de dichas hojas con el incremento en la salinidad, debido probablemente a la necesidad de la planta ya mencionada de mantener una baja relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . Los niveles de potasio en los pecíolos tendieron a ser mayores en los pecíolos inferiores, precisamente donde los niveles de sodio eran más elevados.

La relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en las hojas y pecíolos tendió a mantenerse baja a lo largo de toda la planta, en ambas variedades, alcanzando valores elevados e incluso superiores a 1 sólo en las hojas y pecíolos inferiores, donde la acumulación de sodio fué mayor y el contenido de potasio era menor. Los mayores valores de esta relación se observaron en la variedad Negro 150, lo que habla de una menor capacidad de esta variedad para mantener el sodio fuera de sus hojas.

En resumen, parecer ser que en la planta se va dando una saturación de sodio de abajo hacia arriba conforme aumenta la salinidad; puesto que las hojas propician el movimiento de agua del xilema hacia ellas, por la evapotranspiración, podría pensarse que en ellas tenderían a presentarse altas cantidades de sodio; sin embargo, esto no ocurre así, ya que hay una retención de sodio a lo largo de la planta, en la que las raíces constituyen el primer sitio de acumulación; enseguida, va aumentando el contenido de sodio de los entrenudos, comenzando con los inferiores, y posteriormente alcanzando los pecíolos, lográndose con este sistema mantener una baja relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en las láminas de las hojas y en general en las partes superiores de la planta. Incluso,

esta baja relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  se logra mediante un mayor aporte de potasio al brote. Y estas características se observan con mayor intensidad en la variedad más tolerante a la salinidad.

#### B. Efectos del cambio de la salinidad en el espacio

En los tratamientos a los que se adicionó una capa de suelo con mayor salinidad a los treinta días, se encontró que los entrenudos de los tratamientos a los que se adicionó una capa de 2 dS/m tuvieron una mayor acumulación de sodio que aquellos a los que se adicionó una capa de 4 dS/m; además, en la variedad Flor de Mayo se observó que el contenido de sodio en el tratamiento FII2 fué mayor que en el FI2, el cual había tenido un nivel de CE de 2 dS/m constante. Por otro lado, los contenidos de potasio en los entrenudos de ambas variedades fueron más elevados que en los tratamientos equivalentes de salinidad constante, valores que llevaron a la existencia de relaciones  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  muy bajas en los entrenudos.

En las raíces de estos tratamientos, los contenidos de sodio y potasio en los tratamientos a los que se añadió una capa de 2 dS/m fueron similares a los de los tratamientos equivalentes con salinidad constante, pero en los que tuvieron una capa de 4 dS/m se observó una disminución muy marcada en los contenidos de sodio y potasio, lo cual puede indicar una disminución en la absorción de ambos iones bajo este tratamiento, unida a un transporte de los iones existentes de la raíz al brote, disminuyendo por tanto en la raíz. Puesto que antes de la adición de la segunda capa estos tratamientos eran idénticos a los del tipo III, donde el contenido de potasio era 9 veces mayor que el de sodio, el movimiento de este potasio y este sodio al brote explicaría las bajas relaciones  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en los entrenudos. Puesto que no existe mucha diferencia entre los contenidos de humedad de los tratamientos de este grupo, la disminución en la absorción de iones sería debida a cambios en la permeabilidad de iones, y no a menor absorción de agua.

Los contenidos de sodio en peciolos y hojas fueron mayores que los observados en los tratamientos de salinidad constante, por lo que podría pen-

sarse que el cambio brusco en la salinidad al pasar las raíces de una capa a otra indujo también algún cambio en el grado de retención de sodio, ya que los contenidos de sodio en los entrenudos fueron menores, y como resultado el sodio se acumuló más en los pecíolos; sin embargo, la acumulación en pecíolos fué mayor con la variedad Flor de Mayo, y los mayores niveles en ambas variedades se alcanzaron con los pecíolos superiores (región en donde, por el menor tamaño de las hojas, la evapotranspiración fué menor), de modo que el movimiento de sodio a ellos podría haber sido más bien en el floema. Podría concluirse que el cambio de la salinidad en el espacio, conforme las raíces profundizan, ocasionó cambios en el grado de absorción y retención de iones en la planta, que llevaron a una menor retención de sodio en raíces y tallos, y una mayor movilización del mismo a las partes más altas de la planta, donde su mayor retención se dió en los pecíolos; asimismo, este último factor se dió con mayor intensidad en la variedad Negro 150, la menos tolerante.

### C. Efectos del cambio de la salinidad en el tiempo

En los tratamientos del tipo IV, que sufrieron un incremento brusco y total de la salinidad del medio a los treinta días, se observó un comportamiento intermedio a los anteriores; en primer lugar, se observó una mayor retención de sodio en los entrenudos, pero también se observó una disminución en la acumulación de sodio y potasio en las raíces de los tratamientos cuya salinidad se elevó al grado máximo de 4 dS/m. Los niveles de potasio fueron similares a los de los tratamientos equivalentes de salinidad constante, dando relaciones  $Na^+/K^+$  bajas; en las láminas foliares los contenidos de sodio fueron bajos, pero se observó mayor retención en los pecíolos, sobre todo en los superiores de la variedad Negro 150. Sin embargo, los contenidos generales de sodio fueron menores en las partes aéreas y mayores en las raíces que los tratamientos equivalentes de salinidad constante, lo cual lleva a considerar que las raíces efectúan una mayor retención de sodio al incrementarse bruscamente la salinidad del suelo hasta alcanzar un cierto valor, que cuando se han desarrollado toda su vida en el suelo con ese cierto valor de salinidad constante, pero de todas formas disminuye la capacidad de retención de sodio en los entrenudos, acumulándose éste en los pecíolos terminales.

Los contenidos de humedad de entrenudos, pecíolos y láminas foliares fueron muy similares entre los diversos tratamientos, a excepción de los del grupo III, donde las plantas, por ser más jóvenes, tenían mayor cantidad de agua en sus tejidos. Debido a esta razón, no hubo mucha diferencia en expresar los contenidos de sodio y potasio en partes por millón con respecto a la materia seca, o en miliequivalentes por litro con respecto a la materia húmeda (a excepción de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  que adquiere valores del doble al ser expresada de esta última forma, por la relación de equivalencia entre el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{K}^+$ ). Si bien esto llevaría a concluir que los contenidos de sodio y potasio pueden ser expresados de cualquier forma cuando lo que se desea estudiar es su distribución relativa en la planta, esto puede no ser siempre cierto. El hecho de que los contenidos finales de humedad fueran similares indica que con toda probabilidad las plantas alcanzaron en todos los casos el ajuste osmótico, pero esto pudiera ser diferente con otros niveles de salinidad o cambiando los períodos de exposición a la misma, como hicieron Meiri *et al* (1970). Por otro lado, si las plantas alcanzaron el ajuste osmótico, entonces los efectos de la salinidad sobre el rendimiento y la producción de materia seca del frijol dentro de los rangos utilizados debieron provenir de efectos del tipo de iones específicos.

## 7. CONCLUSIONES

1. Los efectos de la salinidad sobre el rendimiento y producción de materia seca muestran que de las dos variedades utilizadas, la más tolerante es la variedad Flor de Mayo.
2. La distribución de sodio y potasio varía a lo largo de la planta, y esta distribución puede cambiar según la parte de la planta y las condiciones de salinidad del sustrato.
3. Un incremento en la salinidad del suelo ocasiona un aumento en los contenidos de sodio de las raíces, tallo y pecíolos inferiores, en ese orden, y una disminución en el contenido de potasio de la raíz, cambios que se dan con mayor intensidad en la variedad más tolerante.
4. Los incrementos en la salinidad del suelo con la profundidad y con el tiempo disminuyen la retención de sodio en las raíces y entrenudos.
5. La relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  varió a lo largo de la planta, pero tendió a ser mayor en la variedad menos tolerante.
6. Bajo las condiciones evaluadas, no se observaron diferencias en los contenidos de humedad de las plantas en los distintos tratamientos, y tampoco en las distribuciones generales de la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  expresada con relación al peso seco o al peso fresco.
7. Debido a las variaciones que presenta a lo largo de la planta, la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  no puede ser utilizada como un parámetro general para determinar la tolerancia de una planta a la salinidad.

## B. BIBLIOGRAFIA

- Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1975. Calidad del agua para la agricultura. FAO. Roma. 85 p.
- Bernstein, L. y H.E. Hayward. 1958. Physiology of salt tolerance. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 9: 25-46.
- Berstein, L. 1964. Salt tolerance of plants. *USDA Agr. Inf. Bull.* 283. 16 p.
- Bowling, D.J.F. y A.Q. Ansari. 1972. Control of sodium transport in sunflower roots. *J. Exp. Bot.* 23: 241.
- Brownell, P.F. 1968. Sodium as a essential micronutrient element for some higher plants. *Pl. Soil* 28: 161-164.
- Brownell, P.F. 1979. Sodium as an essential micronutrient element for plants and its possible role in metabolism. En: H.W. Woolhouse (ed.) *Advances in botanical research*, vol. VII. Academic Press, London. p. 95-109.
- Brownell, P.F. y C.J. Crossland. 1972. The requirement of sodium as a micro-nutrient by species having the C4 dicarboxylic acid photosintetic pathway. *Pl. Physiol.* 49: 794-797.
- Cachón, L.E., H. Nery y H.E. Cuanalo. 1974. Los suelos del área de influencia de Chapingo, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 79 p.
- Campbell, L.C. y M.G. Pitman. 1971. Salinity and plant cells. En: T. Talsma y J.R. Philip (eds.) *Salinity and water use*. Macmillan, London.
- Carter, D.L. 1975. Salinity problems in agriculture. In: A. Poljakoff-Mayber y J. Gale, *Plants in saline environments*. Springer-Verlag-New York.
- Chapman, H.D. (ed.) 1973. *Diagnostic criteria for plants and soils*. Riverside.
- Collander, R. 1941. Selective absorption of cations by higher plants. *Pl. Physiol.* 16: 691-720.
- Dijkshoorn, W. D.D. Lathwell y C.T. Dwit. 1968. Temporal changes in carboxylate content of ryegrass with stepwise changes in nutrition. *Pl. Soil* 29: 369-390.
- Elzam, O.E. y E. Epstein. 1969. Salt relations of two grass species differing in salt tolerance. *Agrochimica* 13: 196-206.
- Epstein, E. 1972. *Mineral nutrition of plants*. John Wiley and Sons, New York.
- Epstein, E. y C.E. Hagen. 1952. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. *Pl. Physiol.* 27: 457-474. 412 p.

- Epstein, E. y D.W. Rains. 1965. Carrier mediated transport in barley roots: kinetic evidence for a spectrum of active sites. *Proc. Natl. Acad. Sci. US* 53: 1320-1324.
- Flowers, T.J. y A. Lauchli. 1983. Sodium versus potassium: substitution and compartmentation. En: *encyclopedia of plant physiology*, vol. 15b. Springer-Verlag, Berlin. p. 650-681.
- Flowers, T.J., P.F. Troke y A.R. Yeo. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Pl. physiol.* 28: 89-121.
- Gill, J.L. 1978. Design and analysis of experiments in the animal and medical sciences. Iowa State University, Ames. 3 V. sciences. Iowa State University, Ames.
- González, A. 1981. Tasas evapotranspirativas y efecto de variar los niveles de humedad del suelo en el rendimiento del frijol. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Greeway, H., A. Gunn y D.A. Thomas. 1966. Plant response to saline substrates. VIII. Regulation of ion concentrations in salt-sensitive and halophytic species. *Aust. J. Biol. Sci.* 19: 741-756.
- Greenway, H., A. Gunn, M.G. Pitman y D.R. Thomas. 1965. Plant responses to saline substrates. VI. Chloride, sodium, and potassium uptake and distribution within the plant during ontogenesis of *Hordeum vulgare*. *Aust. J. Biol. Sci.* 18: 525-540.
- Greenway, H. y R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annu. Rev; Pl. Physiol.* 31: 149-190.
- Harborne, J.B. 1982. Introduction to ecological biochemistry. Academic Press, London.
- Hoad, G.V. y A.J. Peel. 1965. Studies on the movement of solutes between the sieve tubes and surrounding tissues in willow. *J. Exp. Bot.* 16: 433-451.
- Hogdes, T.K. 1973. Ion absorption by plant roots. *Adv. Agr.* 25: 163-207.
- Hooymans, J.J.M. 1974. Role of cell compartments in the redistribution of K and Na ions absorbed by the roots of intact barley plants. *Z. Pflanzenphysiol.* 73: 234-242.
- Jacoby, B. 1965. Sodium retention in excised bean stems. *Physiol. Plant.* 18: 730-739.
- Jacoby, B. 1979. Sodium recirculation and loss from *Phaseolus vulgaris*. *Ann.Bot.* 43: 741-744.

- Jefferies, R.L. 1973. The ionic relations of seedlings of the halophyte *Triglochin maritima* L. En: W.P. Anderson (ed.) Ion transport in plants. Academic Press, London. p. 297-321.
- Jeschke, W.D. 1979. Net K-Na exchange across the plasmalemma of meristematic root tissues. Z. Pflanzenphysiol. 94: 325-330.
- Jeschke, W.D. y W. Stelter. 1976. Measurement of longitudinal ion profiles in single roots of *Hordeum* and *Atriplex* by use of flameless atomic absorption spectroscopy. Plant 128: 107-112.
- Kramer, D., A. Lauchli, A.R. Yeo y J. Gullasch. 1977. Transfer cells in roots of *Phaseolus coccineus*. Ultrastructure and possible function in exclusion of sodium from the shoot. Ann. Bot. 41: 1031-1040.
- Kylin, A. y R.S. Quatrano. 1975. Metabolic and biochemical aspects of salt tolerance. En: A. Poljakoff-Mayber y J. Gale (eds.) Plants in saline environments. Springer-Verlag, Berlin. p. 147-167
- Larson, W.E. y W.H. Pierre. 1953. Interaction of sodium and potassium on yield and cation composition of selected crops. Soil Sci. 76: 51-64.
- Lauchli, A., A.R. Spurr y E. Epstein. 1971. Lateral transport of ions into the xylem of corn roots. II. Evaluation of a stelar pump. Pl. Physiol. 48: 118-124.
- Lessani, H. y M. Marschner. 1978. Relation between salt tolerance and long-distance transport of sodium and chloride in various crop species. Aust. J. Pl. Physiol. 5: 27-37.
- Levitt, J. 1972. Response of plants to environmental stresses. Academic Press, New York. 697 p.
- Maas, E.V. y G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance current assessment. J. Irrig. Drain. Div. ASCE 103: 115-134.
- Marschner, H. 1971. Why can sodium replace potassium in plants? En: potassium in biochemistry and physiology. International potash Institute, Berna. p. 50-63
- Marschner, H. 1974. Mechanisms of regulation of mineral nutrition in higher plants. Bull. R. Soc. New Zealand, 12: 99-109.
- Meiri, A., J. Kamburoff y A. Poljakoff-Mayber. 1971. Response of bean plants to sodium chloride and sodium sulphate salinization. Ann. Bot. 35: 837-847.
- Meiri, A., E. Mor y A. Poljakoff-Mayber. 1970. Effect of time of exposure to salinity on growth, water status, and salt accumulation in bean plants. Ann. Bot. 34: 383-391.

- Meiri, A. y A. Poljakoff-Mayber. 1967. The effect of chlorine salinity on growth of bean leaves in thickness and area. *Israel J. Bot.* 16: 115-123.
- Meiri, A. y A. Poljakoff-Mayber. 1969. Effect of variations in substrate salinity on the water balance and ionic composition of bean leaves. *Israel J. Bot.* 18: 99-112.
- Meiri, A. y A. Poljakoff-Mayber. 1970. Effect of various salinity regimes on growth, leaf expansion and transpiration rate of bean plants. *Soil Sci.* 109: 26-34.
- Munns, R., H. Greenway y G.O. Kirst. 1983. Halophilic eukariotes. En: *Encyclopedia of plant physiology*, vol. 12c. Springer-Verlag, Berlin.
- Nava, T. 1984. Resistencia a la sequía de cuatro cultivares de frijol. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, U.N.A.M.
- Nobel, P.S. 1975. Chloroplasts. En: D.A. Baker y J.L. Hall (eds.) *Ion transport in plant cells and tissues*. Elsevier, Amsterdam. p. 101-124.
- Osmond, C.B. 1976. Ion absorption and carbon metabolism in cells of higher plants. En: *Encyclopedia of plant physiology*, vol. 2a. Springer-Verlag, Berlin. p. 347-372.
- Ostle, B. 1983. *Estadística aplicada*. Limusa, México.
- Ortiz, O.M. 1980. Aridisoles de Illescas, S.L.P. y sus relaciones con *Phaseolus vulgaris*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, U.N.A.M.
- Osmond, C.B. 1968. Ion absorption in *Atriplex* leaf tissues. I Absorption by mesophyll cells. *Aust. J. Biol. Sci.* 21: 1119-1130.
- Paleg, L.G. y D. Aspinall. 1981. *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants*. Academic Press, London.
- Pallaghy, C.K. 1973. Electron probe microanalysis of potassium and chloride in freeze-substituted leaf sections of *Zea mays*. *Aust. J. Biol. Sci.* 26: 1015-1034.
- Pallaghy, C.K. y B.L.H. Scott. 1969. The electrochemical state of cells of broad bean roots. *Aust. J. Biol. Sci.* 22: 585-600.
- Pitman, M.G. 1965. Sodium and potassium uptake by seedlings of *Hordeum vulgare*. *Aust. J. Biol. Sci.* 18: 10-24.
- Pitman, M.G. 1966. Uptake of potassium and sodium by seedlings of *Sinapsis alba*. *Aust. J. Biol. Sci.* 19: 257-269.
- Pitman, M.G. 1975. Whole plants. En: D.A. Baker y J.L. Hall (eds.) *Ion transport in plant cell and tissues*. Elsevier, Amsterdam. p. 267-308.

- Pitman, M.G. 1976. Ion uptake by plants roots. En: Encyclopedia of plants physiology, vol 2b. Springer-Verlag, Berlin. p. 107-127
- Pitman, M.G. y W.J. Cram. 1977. Regulation of ion content in whole plants. En: D.H.J. Jennings (ed.) Integration in whole plants. En: D.H. Jennings (ed.) Integration of activity in the higher plant. Cambridge University Press, Cambridge. p. 391-424.
- Pitman, M.G., A. Lauchli y R. Stelzer. 1981. Ion distribution in roots of barley seedlings measured by electron probe X-ray microanalysis. Pl. physiol. 68: 673-679.
- Pizarro, F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editora agrícola española, Madrid. 521 p.
- Rains, D.W. y E. Epstein. 1967. Sodium absorption by barley roots: role of the dual mechanisms of alkali cation transport. Pl. Physiol. 42: 314-318.
- Richter, 1976. The water status in the plants. Experimental evidence. En: O.L. Lange, L. Kappen y E.D. Schulze (eds.) Water and plant life. Springer-Verlag, New York. p. 42-55
- Sakazaki, N., Y. Ihara, Y. Tachibana, S. Nagai y H. Takeda. 1954. Physiology of *Metasequoia gluptostroboides* and related species of conifers. II. Comparative studies of salt tolerance. J. Inst. Polyt. Osaka. Univ. 5: 67-80.
- Stassart, J.M. y J. Bogemans. 1984. The effect of salinity on transport and distribution of ions in barley. En: W.J. Cram, K. Janacek, R. Rybova y K. Sigler (eds.) Membrane transport in plants. John Wiley and Sons, Prague.
- Stewart, G.R. e I. Ahmad. 1983. Adaptation to salinity in angiosperm halophytes. En: G.R. Stewart (ed.) Metals and micronutrients: uptake and utilization by plants. Academic Press, London. p. 33-50
- Szabolcs, L. 1979. Review of research on saline and sodic soils. UNESCO, Paris.
- Takeda, H. 1954. Ion accumulation and osmotic value of plants, with special reference to strand plants. J. Inst. Polyt. Osaka Univ. 5: 81-96.
- Van Steveninck, R.F.M., M.E. Van Steveninck, R. Stelzer y A. Lauchli. 1982. Studies on the distribution of Na and Cl in two species of lupin (*Lupinus luteus* and *Lupinus angustifolius*) differing in salt tolerance. Physiol. Plant. 56 465-473.
- Wadleigh, C.H., H.G. Gauch y D.G. Strong. 1947. Root penetration and moisture extraction in saline soil by crop plants. Soil Sci. 63: 341-349.
- Waisel, Y. 1972. Biology of halophytes. Academic Press, New York. 395 p.

- Wignarajah, K., D.H. Jennings y J.F. Handley. 1975. The effect of salinity on growth of *Phaseolus vulgaris* L. II. Effect of internal solute concentration. *Ann. Bot.* 39: 1029-1038.
- Winther, E. y J. Preston. 1982. Salt tolerance of *Trifolium alexandrinum* L. IV. Ion measurements of X-ray microanalysis in unfixed, frozen, hydrated leaf cells at various stages of salt treatment. *Aust. J. Pl. Physiol.* 9: 251-259.
- Wyn Jones, R.G., C.J. Brady y J. Speirs. 1979. Ionic and osmotic relations in plant cells. En: P.C. Laidman y R.G. Wyn Jones (eds.) *Recent advances in the biochemistry of cereals.* Academic Press, London.
- Yeo, A.R. 1981. Salt tolerance in the halophyte *Suaeda maritima* (L.) Dum. Intracellular compartmentation of ions. *J. Exp. Bot.* 32: 487-497.
- Yeo, A.R. y T.J. Flowers. 1980. Salt tolerance in the halophyte *Suaeda maritima* (L.) Dum. Evaluation of the effect of salinity upon growth. *J. Exp. Bot.* 31: 1171-1183.

## APENDICE I

## RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES\*

\*Cada valor mostrado representa el promedio de tres repeticiones.

## TRATAMIENTO F I 1 - T

#	materia seca (PPm)			materia húmeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
1	341.14	5248.30	0.08	6.77	58.39	0.13	69.4
2	922.38	17481.21	0.05	18.31	202.92	0.09	68.9
3	1468.27	26630.62	0.06	28.44	294.33	0.10	70.0
4	2625.09	30870.05	0.09	66.27	459.26	0.15	63.3
5	3173.81	34928.12	0.09	74.02	472.68	0.16	65.2
6	2578.28	30041.34	0.10	56.25	392.23	0.16	66.3
7	2432.17	26472.51	0.09	49.69	282.45	0.15	70.5
8	1945.36	23877.42	0.08	37.97	278.71	0.14	68.7
9	1478.39	23340.16	0.06	28.39	197.56	0.11	75.3
10	1529.91	24219.78	0.06	21.41	197.88	0.11	76.2
11	1742.20	24242.14	0.07	20.17	164.59	0.12	79.0
12	1568.24	23598.07	0.07	22.23	205.73	0.11	74.5
13	1956.50	23197.60	0.08	29.68	207.52	0.14	74.2
14	1912.30	23038.36	0.08	32.85	234.16	0.14	72.1
15	2121.08	22646.01	0.09	29.66	187.39	0.15	75.6
16	2369.12	19221.64	0.14	29.82	150.31	0.24	77.0
17	3241.30	24413.80	0.13	30.08	142.85	0.23	81.8
18	1490.45	35145.19	0.04	12.91	173.16	0.08	83.8

## TRATAMIENTO F I 2 - T

#	materia seca. (PPm)			materia húmeda. (mg/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
1	4865.23	23650.01	0.21	98.26	279.32	0.35	68.7
2	4187.30	25865.26	0.18	87.55	344.48	0.30	66.6
3	3928.66	29314.18	0.14	81.55	355.05	0.23	67.1
4	2835.89	32431.66	0.09	51.73	355.00	0.15	69.8
5	2376.12	36712.89	0.06	40.76	359.02	0.11	72.4
6	2315.38	30141.50	0.07	55.07	415.25	0.13	65.2
7	1918.86	31168.36	0.07	37.88	374.47	0.11	68.2
8	2120.50	30998.30	0.07	40.96	356.94	0.12	69.1
9	2189.74	31268.41	0.07	41.16	347.80	0.12	69.7
10	2338.62	30450.61	0.07	35.46	274.90	0.13	74.2
11	2439.09	29031.80	0.09	45.03	320.06	0.14	70.8
12	2641.70	27982.40	0.10	55.18	332.46	0.16	68.4
13	3279.19	28271.54	0.12	52.46	264.17	0.20	73.2
14	5065.13	27988.60	0.18	19.75	63.00	0.30	92.3
15	5390.52	23765.26	0.24	72.32	188.44	0.40	76.4
16	5041.67	16540.12	0.33	63.80	126.42	0.56	77.1
17	3560.13	11726.94	0.31	38.67	73.42	0.53	80.2
18	2598.47	27038.72	0.10	19.11	119.52	0.17	85.3

## TRATAMIENTO F I 4 - T

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na.	K	Na./K	Na.	K	Na./K	
1	28766.34	17968.46	1.81	636.94	230.90	3.07	66.4
2	24976.29	17339.04	1.51	533.91	216.44	2.57	67.0
3	20936.14	16454.27	1.37	441.72	199.46	2.32	67.5
4	13580.62	16132.74	0.84	308.28	215.34	1.43	65.7
5	8130.52	18329.73	0.47	203.63	266.83	0.80	63.6
6	8648.30	21741.63	0.40	197.71	290.81	0.67	65.9
7	9712.26	25766.75	0.38	157.85	245.65	0.65	73.1
8	10038.29	27900.30	0.36	211.09	344.48	0.61	67.5
9	7556.30	28712.49	0.27	114.59	258.54	0.46	74.1
10	4841.22	29564.32	0.16	86.48	307.15	0.27	71.3
11	3271.65	32569.38	0.10	45.60	267.39	0.17	75.7
12	1635.78	34931.25	0.05	28.70	348.19	0.07	72.5
13	1328.64	43496.54	0.03	21.67	427.20	0.05	72.4
14	1879.86	54840.09	0.04	36.30	633.34	0.06	69.0
15	2734.56	36972.11	0.08	46.96	368.27	0.13	72.1
16	2621.70	27628.48	0.09	33.66	210.06	0.16	77.1
17	3459.31	41768.35	0.09	39.40	290.89	0.14	79.1
18	8795.01	57906.94	0.15	91.69	361.78	0.25	80.3

## TRATAMIENTO N I 1 - T

#	materia seca. (PPm)			materia humeda. (me/l)			%H
	Na.	K	Na/K	Na.	K	Na/K	
1	1841.26	28540.23	0.07	31.50	289.11	0.11	71.8
2	1528.94	30025.10	0.05	32.13	370.55	0.09	67.6
3	2065.36	29564.13	0.07	40.80	352.17	0.12	69.4
4	2412.80	37466.29	0.06	46.42	419.48	0.11	70.1
5	3991.42	44720.00	0.09	83.71	532.61	0.16	68.1
6	3058.06	39448.76	0.08	60.75	467.91	0.13	68.3
7	2159.48	34851.22	0.06	38.04	364.52	0.10	71.1
8	2432.60	31638.29	0.08	40.66	310.02	0.13	72.3
9	2718.74	29876.34	0.09	44.08	282.15	0.16	73.0
10	3070.20	29490.25	0.10	38.18	215.04	0.18	77.9
11	3338.46	29021.70	0.11	47.21	246.29	0.20	75.0
12	3019.67	31238.65	0.10	41.49	257.83	0.17	75.9
13	3390.51	35106.22	0.10	39.81	240.82	0.17	78.9
14	4028.17	37864.09	0.11	60.80	343.83	0.18	73.9
15	4336.12	39315.38	0.11	47.37	251.77	0.19	80.0
16	5469.80	41498.70	0.13	61.20	257.55	0.23	80.5
17	9391.33	36534.52	0.28	97.50	207.29	0.47	81.8
18	3824.74	21219.90	0.18	18.41	60.24	0.30	90.0

## TRATAMIENTO N I 2 - T

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
1	16778.41	21476.28	0.77	248.33	186.70	1.31	74.6
2	14356.07	19770.06	0.73	324.99	263.43	1.23	65.8
3	13021.92	20304.21	0.65	200.52	183.60	1.11	73.0
4	10470.16	24725.62	0.49	219.39	307.13	0.82	67.6
5	9339.40	29942.34	0.33	166.46	311.26	0.56	71.0
6	7718.54	38065.16	0.20	135.04	392.77	0.34	71.2
7	7029.12	34617.29	0.23	136.12	356.96	0.39	71.3
8	7992.60	29769.35	0.27	139.05	299.31	0.46	71.9
9	6461.26	19215.26	0.33	136.36	235.01	0.57	67.9
10	4031.20	15527.38	0.27	77.39	175.09	0.45	70.1
11	5000.20	15272.21	0.33	77.05	135.99	0.56	74.9
12	4836.11	14634.55	0.33	65.31	118.12	0.57	76.2
13	4312.76	20470.11	0.22	50.28	162.50	0.37	76.2
14	5864.20	27769.22	0.21	73.03	199.38	0.36	78.0
15	7457.31	30538.49	0.25	99.01	242.77	0.43	76.4
16	7218.00	32122.78	0.22	76.42	203.60	0.38	80.0
17	6136.80	29840.64	0.21	54.52	150.67	0.36	82.0
18	4639.15	23190.99	0.20	23.32	68.41	0.34	89.6

## TRATAMIENTO N I 4 - T

#	materia seca. (PPM)			materia humeda. (mg/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
1	29554.30	11570.27	2.59	664.31	155.07	4.40	65.6
2	25736.41	14931.12	1.76	497.33	174.09	2.99	69.2
3	20028.12	18926.71	1.06	491.02	274.16	1.80	63.8
4	15769.74	15482.38	1.02	378.34	218.36	1.73	64.4
5	13415.86	15130.69	0.91	258.17	168.80	1.55	69.3
6	12434.75	16871.34	0.73	220.56	175.21	1.25	71.1
7	12936.80	18520.65	0.72	222.72	186.39	1.22	71.8
8	11628.70	20766.97	0.55	277.97	291.13	0.95	64.8
9	11190.51	24739.30	0.47	209.70	277.72	0.80	69.8
10	11971.24	28001.26	0.44	165.90	224.58	0.76	76.0
11	8326.75	29679.50	0.28	122.25	256.54	0.48	74.8
12	5214.06	30584.29	0.17	91.11	312.92	0.29	71.4
13	5470.81	34232.18	0.16	84.81	312.81	0.27	74.0
14	4538.61	34467.76	0.13	59.26	263.03	0.22	77.0
15	4031.26	38964.29	0.10	56.88	328.53	0.18	75.1
16	5314.19	45680.09	0.12	70.95	349.59	0.21	77.0
17	9178.16	35112.16	0.27	80.37	190.67	0.45	82.8
18	2894.50	17090.49	0.17	30.18	103.50	0.29	80.9

## TRATAMIENTO F I I 2 - T

#	materia seca. (PPM)			materia humeda. (me/l)			ZH
	Na.	K	Na./K	Na.	K	Na./K	
1	16234.46	32531.06	0.50	353.24	413.81	0.85	67.1
2	11995.23	37418.80	0.32	292.40	534.53	0.55	64.3
3	10614.11	45163.26	0.23	219.35	554.93	0.40	67.4
4	8540.38	46390.08	0.18	147.90	474.94	0.31	71.5
5	8160.27	50167.13	0.16	162.31	587.16	0.28	68.6
6	9031.61	48226.68	0.19	153.65	482.98	0.32	71.8
7	8273.22	47092.18	0.17	172.30	578.05	0.30	67.5
8	7968.85	45048.23	0.18	166.57	554.37	0.30	67.5
9	7025.13	44615.28	0.15	129.29	475.00	0.26	70.9
10	5242.29	43624.12	0.12	91.97	445.11	0.20	71.6
11	3417.27	45485.16	0.08	63.63	500.86	0.13	70.4
12	2174.80	46163.50	0.05	35.41	444.55	0.08	72.9
13	4102.79	47540.29	0.09	61.96	429.03	0.15	73.8
14	3980.66	51233.75	0.07	55.51	403.70	0.12	76.8
15	3611.51	42379.18	0.09	46.49	317.72	0.14	77.5
16	2617.84	34854.39	0.07	31.15	236.26	0.12	79.5
17	3863.30	30621.19	0.12	37.91	169.58	0.21	82.6
18	6419.72	46980.02	0.13	67.03	288.63	0.23	80.6

## TRATAMIENTO F I I 4 - T

#	materia seca (PPm)			materia humeda. (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
1	7434.07	39225.36	0.19	159.93	499.99	0.32	66.0
2	3664.25	39574.08	0.09	93.82	532.51	0.16	65.8
3	2414.61	41686.01	0.06	53.93	544.66	0.10	66.2
4	2929.80	45330.20	0.06	62.62	597.64	0.11	66.3
5	2967.36	51568.32	0.06	67.14	670.14	0.10	66.2
6	2574.12	53560.77	0.05	55.38	675.10	0.09	67.1
7	2010.60	51623.82	0.04	39.98	594.53	0.07	69.0
8	1538.74	48907.26	0.03	33.79	633.00	0.06	66.4
9	1302.11	48500.90	0.03	29.00	609.39	0.05	67.0
10	1697.79	50060.73	0.03	31.38	532.62	0.06	70.6
11	1180.08	52459.61	0.02	19.44	489.28	0.04	73.2
12	1129.63	55591.76	0.02	22.63	659.44	0.04	68.2
13	1035.24	58012.29	0.02	19.88	665.00	0.03	69.1
14	1197.10	60564.01	0.02	22.04	661.95	0.03	70.1
15	1370.73	49786.74	0.03	23.70	519.53	0.05	71.0
16	2742.61	42106.62	0.07	40.53	355.21	0.11	75.2
17	4354.76	28065.23	0.15	47.76	181.68	0.26	79.8
18	6408.32	10200.10	0.73	63.61	60.81	1.24	81.2

## TRATAMIENTO N I I 2 - T

#	materia seca. (PPm)			materia humeda. (mg/l)			%H
	Na	K	Na./K	Na	K	Na./K	
1	5140.25	29816.74	0.18	89.70	294.51	0.30	72.0
2	3761.44	28160.36	0.13	68.06	300.29	0.23	70.6
3	4380.20	25628.11	0.17	80.96	277.29	0.29	70.9
4	7106.37	24215.76	0.30	113.04	231.35	0.50	73.3
5	10264.28	23359.26	0.45	191.72	262.67	0.77	69.9
6	4536.93	22070.08	0.20	88.80	248.50	0.33	69.7
7	7521.40	21141.90	0.36	129.31	212.92	0.60	71.9
8	6761.03	21017.63	0.32	108.92	201.25	0.54	72.7
9	6566.41	21254.20	0.31	113.15	221.27	0.53	71.3
10	5932.22	22780.49	0.26	80.55	178.45	0.44	76.5
11	5621.70	26934.16	0.21	83.78	237.29	0.35	74.4
12	4130.16	33890.24	0.12	50.70	246.19	0.21	77.9
13	3360.81	40080.67	0.08	48.30	339.69	0.14	75.2
14	2674.61	46372.01	0.06	27.70	284.34	0.10	80.5
15	2540.92	45135.61	0.06	29.36	307.28	0.10	79.0
16	4087.33	39748.12	0.10	45.96	269.45	0.17	79.4
17	7787.00	38167.54	0.21	75.87	228.08	0.36	81.3
18	5520.50	44561.97	0.12	32.90	156.09	0.21	88.0

## TRATAMIENTO N II 4 - T

#	materia seca. (PPm)			materia humeda. (me/l)			%H
	Na.	K	Na/K	Na.	K	Na/K	
1	3536.01	28528.34	0.13	78.71	379.84	0.21	66.0
2	3080.44	36366.19	0.09	65.46	466.93	0.14	66.7
3	3625.78	42772.11	0.09	77.60	529.67	0.14	67.4
4	3246.60	39160.30	0.09	71.63	515.06	0.14	66.2
5	2795.13	37740.32	0.08	47.56	374.30	0.13	72.0
6	2580.96	35214.08	0.07	53.60	421.88	0.13	68.3
7	3040.32	33390.50	0.09	57.30	389.40	0.16	68.9
8	2706.21	33941.78	0.08	52.66	392.28	0.14	69.1
9	2649.36	34732.59	0.07	48.31	372.27	0.13	70.3
10	3071.21	36844.04	0.09	53.95	384.14	0.15	71.1
11	4316.39	39666.03	0.11	80.80	427.85	0.19	70.1
12	5936.50	29811.15	0.20	84.96	258.87	0.34	75.3
13	5160.72	27495.36	0.19	75.87	242.48	0.33	75.0
14	3698.19	27038.76	0.13	54.66	234.03	0.23	74.8
15	4766.34	26191.10	0.18	87.48	283.69	0.30	70.3
16	5600.29	24324.60	0.24	48.34	126.22	0.40	83.2
17	9144.30	22175.30	0.41	77.87	111.30	0.69	83.6
18	4878.12	6048.17	0.88	44.07	33.70	1.50	82.4

## TRATAMIENTO F IV 2 - T

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			ZH
	Na	K	Na./K	Na	K	Na./K	
1	12664.38	34185.80	0.37	232.36	377.84	0.62	69.8
2	8170.19	35766.19	0.24	173.10	444.91	0.39	67.3
3	6865.04	38430.15	0.18	142.55	463.95	0.31	67.8
4	5372.11	34345.79	0.16	108.14	411.95	0.27	68.0
5	4312.38	39421.38	0.11	75.14	418.60	0.19	70.9
6	4215.75	36561.27	0.12	82.65	401.29	0.21	69.9
7	5002.26	32940.70	0.16	100.29	362.80	0.28	69.5
8	4796.34	29018.36	0.17	98.97	352.73	0.29	67.9
9	4028.65	27026.50	0.15	87.54	343.37	0.26	66.8
10	4376.29	26685.04	0.16	101.55	365.00	0.27	65.0
11	3510.70	29073.35	0.12	78.26	381.83	0.21	66.0
12	3240.26	31519.42	0.10	50.67	301.15	0.17	72.5
13	3515.75	28496.20	0.14	63.58	298.27	0.23	70.9
14	3680.18	29080.70	0.13	68.65	313.05	0.22	70.2
15	4404.70	31537.25	0.14	74.18	318.98	0.24	71.6
16	4019.64	33543.39	0.12	62.40	310.18	0.21	73.6
17	4153.21	35853.12	0.12	55.37	268.53	0.21	77.1
18	4101.18	37029.48	0.11	42.30	215.78	0.19	81.5

## TRATAMIENTO F IV 4 - T

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
1	4791.06	19675.04	0.24	114.45	277.61	0.41	64.4
2	3180.29	20420.70	0.17	71.97	271.66	0.28	65.8
3	2958.36	15860.23	0.20	52.25	163.87	0.35	71.2
4	3019.12	14412.24	0.21	70.33	195.62	0.35	65.3
5	3536.24	14070.13	0.25	80.00	185.33	0.42	66.1
6	3568.29	14382.34	0.25	93.12	221.89	0.43	62.4
7	2710.11	14308.50	0.19	59.89	186.41	0.32	66.4
8	2514.36	13331.77	0.19	55.63	172.70	0.33	66.3
9	1776.29	12560.86	0.13	40.02	162.91	0.23	66.8
10	2021.78	13019.44	0.16	38.23	147.51	0.27	69.2
11	2140.66	13720.66	0.16	47.33	174.38	0.27	66.8
12	2411.78	14186.35	0.17	56.05	193.73	0.29	65.3
13	2317.35	14733.67	0.17	44.64	168.54	0.29	69.0
14	1950.26	14624.48	0.13	34.33	154.08	0.23	71.1
15	2161.30	15111.30	0.15	35.48	143.26	0.26	72.8
16	2139.08	14476.08	0.15	34.04	141.28	0.25	72.7
17	3500.20	19490.34	0.19	54.91	180.51	0.32	73.5
18	1936.18	34543.81	0.06	22.16	239.08	0.10	78.9

## TRATAMIENTO N IV 2 - T

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na.	K	Na/K	Na.	K	Na/K	
1	15021.63	24369.78	0.62	302.48	289.83	1.05	68.5
2	11419.08	17420.13	0.66	243.18	216.78	1.12	67.9
3	10030.81	13241.66	0.76	227.38	176.24	1.28	65.8
4	9765.13	9081.24	1.87	216.20	118.57	3.19	66.3
5	9053.18	10267.26	0.89	194.70	128.13	1.51	67.2
6	8231.36	13019.75	0.64	152.51	142.52	1.08	69.7
7	7121.41	16594.03	0.51	167.26	227.16	0.86	65.0
8	6270.39	19219.38	0.33	97.72	177.11	0.56	73.8
9	5183.65	23640.19	0.21	111.12	288.83	0.37	67.8
10	5036.23	26865.37	0.19	97.04	315.62	0.33	68.8
11	4759.83	29941.46	0.16	88.53	329.22	0.27	70.0
12	3685.20	33528.11	0.11	51.17	270.05	0.19	75.8
13	3300.45	30964.00	0.11	63.86	353.83	0.19	69.1
14	3824.15	27312.24	0.15	68.09	287.80	0.25	70.9
15	4539.18	22526.74	0.20	65.75	197.56	0.34	74.6
16	4775.41	17142.68	0.27	65.56	136.71	0.46	76.4
17	6534.20	14760.20	0.43	73.68	96.46	0.73	80.2
18	4680.91	28534.15	0.19	47.53	176.90	0.31	80.5

## TRATAMIENTO N IV 4 - T

#	materia seca. (PPm)			materia humeda. (me/l)			%H
	Na.	K	Na./K	Na.	K	Na./K	
1	5375.28	39221.87	0.14	106.63	454.15	0.24	68.8
2	4211.00	37670.62	0.11	102.84	539.94	0.19	64.1
3	2534.48	37532.04	0.07	54.10	475.68	0.12	67.0
4	2091.07	36430.20	0.06	44.71	457.04	0.10	67.1
5	1418.75	34765.66	0.04	32.81	471.92	0.07	65.4
6	1670.38	32917.50	0.05	36.90	439.37	0.09	65.8
7	2021.13	32218.39	0.07	42.74	393.98	0.11	67.6
8	2180.64	32740.61	0.07	44.71	403.52	0.11	67.5
9	1668.78	32867.57	0.05	39.04	453.64	0.08	65.0
10	1682.39	29142.35	0.06	33.38	349.67	0.11	67.6
11	2037.06	29226.64	0.07	42.31	356.74	0.12	67.6
12	1849.34	28049.05	0.06	42.79	381.71	0.11	65.1
13	1470.36	26500.42	0.05	28.11	299.86	0.09	69.5
14	2381.90	24876.20	0.11	49.12	298.07	0.18	68.0
15	2213.45	23459.27	0.10	39.75	250.57	0.16	71.0
16	3019.78	25036.16	0.12	44.99	226.70	0.20	73.9
17	2036.15	29371.19	0.08	33.61	283.38	0.13	72.6
18	3397.85	34820.00	0.10	42.00	254.97	0.17	77.7

## TRATAMIENTO F I I I 1 - T

#	materia seca (PPm)			materia humeda (mg/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
1	2041.36	41963.08	0.05	29.86	356.12	0.09	75.1
2	1638.09	43415.26	0.04	24.03	372.64	0.06	74.9
3	1433.17	46238.14	0.03	19.07	372.35	0.05	76.2
4	2184.12	51484.19	0.04	28.12	390.34	0.07	77.1
5	2496.05	58312.76	0.04	35.07	482.33	0.07	75.6
6	3033.60	66509.90	0.05	43.69	547.15	0.08	76.0
7	3440.18	63687.60	0.05	38.02	414.21	0.09	79.8
8	2928.60	57740.21	0.05	33.60	390.71	0.09	79.1
9	3146.88	53516.01	0.06	37.71	374.56	0.10	78.6
10	3328.16	48919.51	0.07	40.05	343.97	0.12	78.5
11	4789.34	42076.38	0.11	48.71	251.32	0.20	81.1
12	8392.07	48328.62	0.17	51.96	172.43	0.30	87.8
13	11530.19	49212.16	0.24	81.27	204.79	0.40	86.0
14	5723.08	8746.78	0.65	30.23	26.80	1.12	89.4

## TRATAMIENTO F I I I 2 - T

#	materia seca. (PPm)			materia humeda. (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
1	6436.12	39214.17	0.16	89.84	319.73	0.28	75.9
2	6640.15	41976.15	0.15	86.98	320.61	0.26	77.1
3	6395.60	47615.21	0.13	90.42	390.49	0.23	75.9
4	6218.36	52512.36	0.12	80.91	402.80	0.20	76.9
5	5649.13	66560.52	0.09	61.04	425.44	0.14	79.9
6	5320.86	56437.34	0.09	66.45	415.30	0.16	77.6
7	4275.18	52976.39	0.08	49.22	374.78	0.14	78.4
8	2825.40	50709.68	0.06	34.63	380.69	0.10	77.5
9	3926.75	49634.13	0.08	44.74	319.35	0.13	80.0
10	3280.16	55467.22	0.06	35.98	365.26	0.11	79.6
11	20836.95	34091.06	0.61	161.18	155.12	1.04	84.9
12	4167.22	17426.31	0.24	21.81	53.52	0.41	89.4

## TRATAMIENTO F III 4 - T

#	materia seca (PPm)			materia humeda (mg/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
1	16034.82	35728.01	0.45	257.56	337.42	0.76	73.0
2	10350.00	42764.80	0.25	137.86	340.72	0.42	76.4
3	7124.12	48358.15	0.15	106.17	422.69	0.26	74.6
4	5720.34	55120.70	0.11	92.36	520.51	0.18	73.0
5	4785.26	64898.12	0.07	65.84	525.39	0.12	76.0
6	4039.14	59427.73	0.07	44.75	394.09	0.11	79.8
7	3364.12	53975.50	0.06	42.83	402.56	0.11	77.4
8	3945.85	46748.49	0.08	47.39	321.11	0.14	78.9
9	6504.08	53140.42	0.12	82.98	392.10	0.22	77.7
10	7239.27	58068.61	0.12	74.53	353.14	0.21	80.7
11	5645.92	25641.10	0.22	38.97	182.80	0.33	86.3

## TRATAMIENTO N III 1 - T

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
1	3190.07	58795.03	0.05	37.75	404.99	0.09	78.7
2	2615.70	50820.32	0.05	33.27	379.19	0.09	77.5
3	1834.16	34049.20	0.06	26.86	289.56	0.09	75.1
4	3291.27	33690.10	0.10	50.84	306.85	0.17	73.7
5	3828.19	34641.70	0.11	45.41	240.05	0.19	78.7
6	3031.60	38021.20	0.08	35.10	263.04	0.14	78.7
7	3440.02	41971.06	0.08	43.86	312.53	0.14	77.4
8	3785.18	45660.15	0.09	46.49	330.13	0.14	78.0
9	5040.65	50910.71	0.10	73.37	434.75	0.16	75.1
10	3539.62	53536.62	0.07	41.02	362.05	0.12	79.1
11	3765.16	52042.14	0.07	27.66	221.56	0.12	85.6
12	4690.30	47982.61	0.10	22.35	124.99	0.17	90.8

## TRATAMIENTO N III 2 - T

#	materia. seca. (PPm)			materia. humeda. (mg/l)			%H
	Na	K	Na./K	Na	K	Na./K	
1	3940.36	46934.05	0.09	53.24	365.01	0.15	76.5
2	2447.11	31220.61	0.08	29.08	215.16	0.14	79.7
3	2615.70	24564.06	0.11	37.39	202.54	0.19	75.5
4	4229.19	26622.00	0.16	59.11	211.77	0.27	76.3
5	3160.40	30461.30	0.11	49.75	291.29	0.18	73.4
6	3722.29	36370.21	0.10	45.71	262.45	0.18	78.0
7	3491.10	43574.20	0.08	36.50	269.30	0.14	80.7
8	4275.22	47842.16	0.09	47.66	320.99	0.15	79.9
9	21118.30	27465.88	0.77	239.57	196.04	1.32	79.4
10	10320.85	23810.51	0.43	122.57	165.46	0.73	79.0
11	5520.42	17984.60	0.30	52.57	180.13	0.52	82.1

## TRATAMIENTO N III 4 - T

#	materia seca (PPm)			materia húmeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
1	12230.04	12075.62	1.04	164.87	97.61	1.77	76.1
2	13195.26	13160.15	1.01	183.72	107.79	1.71	75.7
3	15766.38	15694.72	1.06	215.03	125.88	1.80	76.1
4	16180.75	15038.81	1.08	238.42	130.18	1.84	74.7
5	17121.16	19976.15	0.90	238.68	164.09	1.53	75.7
6	19348.30	14128.30	1.33	221.63	94.82	2.26	79.2
7	20099.46	7744.16	2.65	230.25	52.12	4.51	79.2
8	12328.30	8120.62	1.50	146.65	56.08	2.72	78.6
9	9740.38	12628.34	0.85	89.29	66.40	1.45	82.8
10	7636.01	9161.08	0.91	56.16	39.28	1.54	85.6

## TRATAMIENTO F I 1 - P

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			ZH
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	3419.82	38741.20	0.09	45.54	303.32	0.15	76.6
3	4586.16	45039.67	0.10	65.62	378.67	0.17	75.3
4	5504.92	51096.31	0.11	67.45	367.56	0.18	78.1
5	5438.69	79911.38	0.07	67.37	592.09	0.12	77.8
6	6412.08	77366.75	0.08	79.04	560.35	0.14	77.9
7	5730.20	64774.82	0.09	85.40	569.58	0.15	74.4
8	3841.72	56512.08	0.07	53.84	466.95	0.11	75.6
9	5626.55	51119.48	0.11	75.91	404.13	0.19	76.5
10	4888.30	52261.37	0.09	69.06	435.14	0.15	75.4
11	7964.06	47390.31	0.17	112.55	391.21	0.28	75.7
12	5021.18	46628.92	0.11	67.97	369.59	0.19	76.5
13	5476.36	45791.30	0.12	67.68	332.09	0.20	77.9
14	6380.19	42921.44	0.14	73.30	287.80	0.25	79.4
15	5632.81	37460.50	0.14	80.04	299.35	0.24	77.0
16	11042.70	39871.49	0.32	105.00	190.79	0.55	82.2
17	6054.68	51745.68	0.11	31.76	156.62	0.20	89.9

## TRATAMIENTO F I 2 - P

#	materia seca. (PPm)			materia húmeda. (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	10646.11	23826.15	0.46	132.89	175.13	0.77	77.7
3	8729.76	25069.28	0.36	114.47	190.47	0.61	77.0
4	7091.71	39874.36	0.18	105.48	348.09	0.30	74.5
5	6740.72	46615.29	0.15	85.73	349.36	0.25	77.3
6	7359.85	51012.66	0.15	120.34	484.36	0.26	72.9
7	6665.03	35149.20	0.19	100.01	310.68	0.33	74.3
8	7200.40	31985.44	0.23	103.84	271.33	0.39	75.2
9	5924.36	29267.32	0.20	98.26	286.10	0.35	72.3
10	6072.15	34235.18	0.19	74.95	244.50	0.31	78.1
11	8389.70	36876.20	0.23	100.58	262.69	0.39	78.4
12	6826.19	48560.10	0.14	80.54	346.74	0.25	78.6
13	8064.32	40535.89	0.21	101.19	280.46	0.35	78.5
14	10129.75	39645.76	0.26	87.03	195.78	0.44	83.9
15	13818.06	35799.12	0.39	157.18	229.04	0.65	80.4
16	9281.70	43508.06	0.22	73.17	198.69	0.37	84.8
17	5574.16	45824.80	0.12	32.93	158.24	0.21	88.1

## TRATAMIENTO F I 4 - P

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	8521.75	42538.12	0.20	135.06	394.63	0.35	73.4
3	10480.22	45986.35	0.23	160.33	417.68	0.39	73.8
4	10335.41	49132.11	0.21	166.24	448.47	0.35	73.9
5	8036.60	57766.30	0.14	127.49	540.27	0.24	73.4
6	8894.72	62349.88	0.15	131.97	526.55	0.24	75.1
7	9514.30	71006.39	0.14	149.71	660.33	0.23	73.4
8	7355.89	84912.78	0.09	97.85	662.35	0.15	76.7
9	5220.13	65082.99	0.08	70.26	519.50	0.14	76.3
10	6021.02	46233.54	0.13	94.81	429.07	0.22	73.4
11	4180.15	42600.12	0.10	53.73	312.68	0.16	77.8
12	7391.26	30488.62	0.24	84.34	204.59	0.41	79.4
13	5737.25	14425.50	0.43	35.99	52.14	0.73	87.5
14	6334.89	49276.83	0.13	69.12	310.40	0.22	80.2
15	10412.00	74785.12	0.14	100.50	417.24	0.24	82.1
16	5526.30	56103.89	0.10	28.20	177.35	0.17	89.0
17	5489.66	16535.23	0.33	36.38	65.54	0.56	86.8

## TRATAMIENTO N I 1 - F

#	materia seca (PPm)			materia humeda (mg/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	6538.37	47368.51	0.14	80.66	340.05	0.24	78.0
3	8021.34	49025.84	0.17	114.86	411.26	0.30	75.2
4	7295.34	55134.80	0.13	98.93	436.51	0.22	76.5
5	8042.18	64789.03	0.13	86.96	415.14	0.21	80.4
6	8367.15	82211.45	0.10	99.58	570.28	0.17	78.8
7	10139.04	78235.64	0.13	140.87	634.50	0.22	76.0
8	8294.20	69328.51	0.12	95.54	468.04	0.21	79.1
9	7119.65	69784.56	0.10	76.35	440.64	0.17	80.1
10	6654.28	63485.11	0.11	90.58	517.90	0.19	76.0
11	8573.06	59687.64	0.15	90.89	359.03	0.25	80.9
12	7023.86	50066.84	0.14	69.49	296.32	0.24	81.3
13	5500.45	42215.65	0.13	63.09	271.40	0.22	80.3
14	5324.00	40376.51	0.13	44.99	190.30	0.23	84.5
15	9068.26	40785.64	0.22	72.32	191.03	0.38	84.5
16	4529.82	34518.77	0.13	17.72	79.48	0.23	91.6
17	5368.39	44741.80	0.12	17.88	86.67	0.21	92.9

## TRATAMIENTO N I 2 - F

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			ZH
	Na	K	Na./K	Na	K	Na./K	
2	20028.19	31024.87	0.64	248.99	228.48	1.09	77.5
3	14019.57	32985.42	0.44	160.36	223.20	0.74	79.4
4	13056.24	39546.89	0.34	168.70	293.03	0.58	77.0
5	14127.51	40466.12	0.36	164.86	284.86	0.61	78.8
6	11987.25	46974.25	0.26	133.26	315.94	0.44	79.5
7	11446.50	49422.18	0.23	151.69	389.96	0.40	76.4
8	8540.67	54355.10	0.16	74.52	279.04	0.28	83.3
9	9072.59	54997.21	0.17	58.59	209.50	0.28	87.1
10	6634.19	46432.14	0.14	61.69	247.57	0.24	82.8
11	7862.04	27262.39	0.29	77.53	156.28	0.48	81.7
12	7438.11	30447.24	0.25	63.83	153.59	0.42	83.6
13	4936.50	31546.05	0.16	53.88	201.15	0.27	79.9
14	8997.53	35876.13	0.25	75.56	174.11	0.43	84.2
15	12035.81	44984.35	0.29	69.98	160.03	0.50	87.9
16	12205.73	47252.81	0.26	70.99	153.15	0.45	88.6
17	7444.08	20396.42	0.40	31.03	49.89	0.68	91.3

## TRATAMIENTO N I 4 - P

#	materia seca. (PPm)			materia. humeda. (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	25534.29	12436.15	2.13	268.73	79.34	3.62	80.4
3	19735.18	16475.01	1.22	127.43	64.26	2.00	86.9
4	18162.07	17085.69	1.08	181.41	180.12	1.84	81.5
5	14328.06	15997.21	0.90	126.41	82.62	1.53	83.2
6	8120.97	19345.77	0.41	76.22	186.71	0.70	82.1
7	9030.07	29050.24	0.32	116.96	221.79	0.54	77.0
8	12685.61	32140.52	0.42	101.74	150.04	0.71	84.5
9	13928.34	57168.46	0.25	142.19	336.48	0.42	81.2
10	15529.87	47031.00	0.33	172.72	386.17	0.57	79.6
11	13675.44	39642.16	0.35	122.77	207.86	0.59	82.9
12	14053.70	33235.11	0.42	117.17	162.18	0.72	83.9
13	8927.62	11924.67	0.76	66.39	53.10	1.30	85.5
14	6633.08	7532.16	0.89	35.82	23.84	1.52	89.0
15	16740.45	37488.91	0.46	98.46	128.68	0.78	88.3
16	5928.99	18946.78	0.32	28.75	53.33	0.54	90.2
17	3879.66	3469.04	1.25	16.64	8.21	2.12	91.2

## TRATAMIENTO F I I 2 - P

#	materia seca (PPm)			materia humeda (mg/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	20085.21	42516.84	0.48	315.33	390.78	0.81	73.5
3	18243.59	42375.00	0.43	269.13	369.21	0.73	74.6
4	18534.18	46684.35	0.41	236.61	355.98	0.70	77.2
5	16187.45	54030.48	0.30	210.66	408.46	0.51	77.1
6	15943.00	52466.78	0.30	198.80	385.23	0.52	77.7
7	13285.42	71409.20	0.19	183.83	581.36	0.32	75.9
8	14825.10	49166.71	0.30	193.55	373.68	0.52	77.2
9	13444.68	47365.13	0.29	178.25	362.70	0.49	76.9
10	7038.94	39649.75	0.18	86.34	278.60	0.30	78.4
11	7284.45	38072.51	0.19	95.35	294.05	0.33	76.8
12	12441.20	39931.48	0.31	168.58	320.88	0.53	76.4
13	12011.89	35173.85	0.34	161.36	276.32	0.59	76.7
14	16175.16	68397.10	0.24	184.75	452.71	0.42	79.4
15	17594.87	64937.48	0.27	178.65	392.64	0.47	80.9
16	9546.38	48132.50	0.24	70.70	177.65	0.41	85.3
17	7039.84	62668.77	0.11	60.34	315.74	0.19	83.6

## TRATAMIENTO F I I 4 - P

#	materia seca (Pfm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	19435.26	28546.31	0.69	318.98	276.21	1.17	72.7
3	14796.25	33144.06	0.45	208.43	274.39	0.75	75.5
4	9384.51	37187.66	0.25	129.93	302.18	0.43	75.9
5	9945.30	54899.41	0.18	142.52	463.05	0.31	75.2
6	8657.14	65727.00	0.13	116.99	522.08	0.22	76.3
7	11649.55	62544.21	0.19	153.21	480.25	0.32	76.9
8	8542.31	51233.64	0.17	119.29	420.12	0.28	75.7
9	9388.12	19671.13	0.48	122.87	151.75	0.82	76.9
10	15170.61	34069.55	0.45	224.53	294.62	0.75	74.8
11	19677.00	37149.87	0.53	256.07	283.99	0.90	77.0
12	16584.23	49630.81	0.33	216.44	384.02	0.57	76.7
13	15264.02	71668.42	0.22	185.56	506.84	0.37	78.4
14	11942.66	74982.15	0.16	152.62	560.91	0.27	77.5
15	15427.11	61803.32	0.25	182.82	426.84	0.43	78.8
16	17396.57	55634.06	0.31	117.03	220.20	0.53	86.7
17	40153.19	11208.30	3.66	277.16	45.29	6.23	86.2

## TRATAMIENTO N I I 2 - F

#	materia. seca. (PPm)			materia. humeda. (mg/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	17442.03	55734.16	0.32	200.76	377.55	0.54	79.1
3	14038.61	62431.02	0.22	188.67	496.98	0.38	76.3
4	9078.64	72624.30	0.13	124.07	592.62	0.22	75.9
5	8241.69	71189.00	0.12	117.70	602.24	0.21	75.2
6	9010.58	63846.55	0.14	91.54	378.88	0.25	81.1
7	7654.21	51674.03	0.15	87.65	346.65	0.25	79.2
8	7441.01	45733.20	0.16	87.73	323.86	0.27	78.3
9	8766.47	69575.38	0.13	106.02	504.97	0.22	78.0
10	9211.66	78402.65	0.12	124.54	619.51	0.20	76.4
11	8574.31	73648.90	0.12	88.46	441.31	0.20	80.9
12	7216.98	78634.97	0.09	90.05	582.32	0.16	77.6
13	7468.10	77089.77	0.09	85.39	519.25	0.16	79.1
14	5887.16	73845.03	0.08	49.90	363.42	0.14	84.0
15	9567.77	71036.44	0.13	98.92	428.69	0.23	80.9
16	18645.22	56164.16	0.33	81.43	142.63	0.57	90.7
17	40119.70	19875.20	2.03	202.29	57.89	3.44	89.8

## TRATAMIENTO N II 4 - P

#	materia seca. (PPm)			materia humeda. (mg/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	8467.22	19033.65	0.45	91.22	124.47	0.77	79.7
3	8030.17	17544.80	0.46	107.74	136.96	0.77	76.7
4	5834.99	14068.76	0.42	63.22	92.92	0.71	79.5
5	7019.54	17135.02	0.42	67.68	93.11	0.71	82.4
6	7758.49	34284.16	0.23	116.20	296.13	0.39	75.2
7	5120.68	20316.89	0.25	63.40	149.45	0.42	77.6
8	4698.77	13644.87	0.35	55.73	92.76	0.59	78.9
9	7624.35	11203.45	0.68	101.80	89.98	1.15	76.2
10	12406.85	12385.96	1.02	144.48	82.35	1.73	79.2
11	8568.97	25170.19	0.35	87.53	152.52	0.60	80.9
12	8547.66	29433.86	0.30	110.17	223.86	0.51	77.1
13	7361.09	31472.07	0.27	83.88	203.99	0.45	79.6
14	8345.12	45536.49	0.18	91.16	299.83	0.31	80.2
15	7544.20	53043.79	0.15	83.68	346.12	0.25	79.8
16	9367.88	45231.03	0.21	73.45	217.04	0.36	84.4
17	19930.44	7566.17	2.66	135.09	29.92	4.53	86.6

## TRATAMIENTO F IV 2 - P

#	materia seca (PPM)			materia húmeda (mg/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	12467.11	33716.89	0.38	183.30	290.26	0.64	74.6
3	12643.94	33361.58	0.38	174.65	271.48	0.65	75.9
4	10567.50	36811.21	0.29	139.90	286.09	0.49	76.9
5	11328.71	41035.69	0.29	150.16	317.31	0.49	76.7
6	8736.85	50189.03	0.17	111.13	379.98	0.30	77.2
7	8146.97	49667.44	0.17	97.09	349.99	0.28	78.6
8	6387.94	53617.54	0.12	86.31	427.79	0.21	76.3
9	6849.77	50475.18	0.13	84.94	366.05	0.22	78.0
10	8879.66	42639.77	0.21	100.61	279.89	0.36	79.4
11	9411.00	41471.08	0.24	103.70	266.19	0.40	79.9
12	12766.41	46350.20	0.27	130.87	281.01	0.47	80.9
13	11940.55	42135.72	0.29	135.06	276.09	0.50	79.4
14	10556.88	32451.31	0.33	123.55	222.79	0.56	78.8
15	14543.84	28877.39	0.51	131.89	153.04	0.87	82.8
16	11410.43	29671.00	0.39	73.56	112.23	0.66	87.1
17	9435.27	31567.21	0.30	71.13	138.27	0.51	85.5

## TRATAMIENTO F IV 4 - F

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	12943.51	50468.71	0.26	210.61	483.37	0.45	72.8
3	11635.11	52036.84	0.23	187.96	494.97	0.38	72.9
4	7499.57	51569.14	0.15	105.90	434.60	0.25	75.3
5	7822.06	66431.15	0.12	115.23	575.54	0.20	74.7
6	5784.91	65418.77	0.09	92.01	606.31	0.15	73.5
7	4210.58	78540.39	0.05	50.35	559.59	0.09	78.1
8	4196.43	48295.14	0.09	54.30	361.08	0.15	77.4
9	5007.65	44105.48	0.11	74.20	383.26	0.19	74.7
10	3741.12	42519.48	0.09	41.98	279.55	0.15	79.7
11	5067.48	30147.00	0.17	66.11	230.21	0.28	77.1
12	4578.31	41066.95	0.12	64.03	330.79	0.19	76.0
13	3529.78	59076.80	0.06	46.90	459.35	0.10	76.8
14	5243.16	67305.73	0.08	69.46	523.91	0.13	76.7
15	16279.44	81425.07	0.20	195.37	573.57	0.34	78.5
16	21046.88	57669.38	0.37	212.04	339.95	0.63	81.2
17	31789.96	40175.46	0.79	226.97	167.00	1.35	85.9

## TRATAMIENTO N IV 2 - P

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	7776.85	13042.66	0.61	100.14	97.16	1.05	77.3
3	8546.96	18573.96	0.45	112.60	147.13	0.77	76.8
4	7004.85	62511.80	0.11	89.66	465.42	0.19	77.8
5	8879.45	70369.88	0.13	121.90	549.96	0.22	76.5
6	6388.12	49638.17	0.13	87.74	404.77	0.22	75.9
7	4739.40	41471.01	0.12	57.00	295.23	0.19	78.2
8	6949.77	46734.18	0.15	91.03	370.73	0.26	76.4
9	6578.48	47158.16	0.14	80.91	338.74	0.24	78.1
10	9832.33	50468.00	0.19	108.20	328.36	0.33	79.7
11	9897.05	59944.76	0.17	112.05	399.66	0.28	79.4
12	12743.19	56104.72	0.23	153.07	401.03	0.39	78.2
13	9384.16	65129.11	0.15	98.43	404.07	0.25	80.5
14	8029.00	81097.40	0.10	96.10	572.18	0.17	78.5
15	5871.22	80430.60	0.07	57.66	463.10	0.12	81.6
16	15349.78	60001.33	0.27	127.44	298.09	0.45	83.9
17	25495.40	7426.91	3.43	156.36	26.73	5.83	87.8

## TRATAMIENTO N IV 4 - P

#	materia seca. (PPm)			materia húmeda. (me/l)			ZH
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	8915.64	29044.16	0.30	124.64	238.82	0.52	75.7
3	10026.78	31927.58	0.31	148.95	279.27	0.54	74.5
4	9564.13	35406.44	0.27	129.89	278.90	0.46	76.5
5	8454.11	35181.64	0.24	105.84	258.89	0.41	77.6
6	6633.79	39216.54	0.17	103.69	361.69	0.29	73.6
7	3540.00	44077.84	0.08	45.76	350.28	0.14	76.3
8	2709.78	46615.19	0.06	42.24	428.26	0.10	73.6
9	2168.33	58837.39	0.04	28.38	467.84	0.06	76.1
10	727.08	48705.22	0.02	10.92	424.79	0.02	74.7
11	949.13	37246.00	0.02	14.97	344.07	0.04	73.5
12	2041.99	31684.04	0.07	28.49	260.10	0.11	75.8
13	2485.64	31171.52	0.08	30.76	220.99	0.13	78.4
14	3674.55	40268.19	0.09	44.18	282.22	0.16	78.5
15	7419.88	45167.64	0.17	76.40	268.91	0.29	81.1
16	10433.07	56239.72	0.20	89.79	294.93	0.34	83.2
17	14578.62	18425.60	0.84	110.06	82.50	1.42	85.1

## TRATAMIENTO F III 1 - P

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	5938.23	98164.50	0.06	58.02	561.10	0.10	81.7
3	6229.55	93716.43	0.07	54.82	485.39	0.11	83.2
4	3598.24	87634.19	0.04	35.86	515.91	0.07	81.3
5	4006.87	81944.36	0.05	41.71	501.99	0.08	80.7
6	4578.10	80273.40	0.05	48.64	503.36	0.09	80.3
7	3744.19	80934.11	0.05	35.34	452.69	0.08	82.1
8	3066.14	77738.49	0.04	29.42	437.34	0.06	82.0
9	5436.05	80473.46	0.07	50.73	440.38	0.12	82.4
10	4685.04	63911.22	0.07	30.35	246.00	0.13	87.0
11	5620.00	29488.05	0.19	27.15	84.46	0.33	90.0
12	8194.81	52977.31	0.16	47.00	178.93	0.26	88.3
13	11346.54	2833.16	4.02	53.78	7.71	6.83	90.4

## TRATAMIENTO F III 2 - P

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	9530.66	84876.51	0.11	109.70	573.27	0.19	79.1
3	6670.12	92531.09	0.07	51.49	419.42	0.12	85.0
4	6031.88	95133.50	0.06	53.32	493.78	0.11	83.1
5	5079.33	90866.48	0.06	46.97	491.80	0.10	82.5
6	5943.02	91324.81	0.07	49.84	466.95	0.11	83.2
7	5581.69	91644.00	0.06	55.84	534.31	0.10	81.5
8	4219.77	18421.00	0.23	37.96	97.20	0.39	83.0
9	4927.06	19936.28	0.24	49.55	118.33	0.41	81.1
10	7245.85	24518.99	0.32	44.15	87.32	0.54	87.7
11	13817.67	3041.20	5.36	59.39	7.47	9.13	91.2

## TRATAMIENTO N III 1 - P

#	materia. seca (PPm)			materia. humeda (mg/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	6059.43	90481.62	0.07	67.39	583.59	0.12	79.7
3	6938.48	88233.10	0.08	55.94	420.80	0.14	84.3
4	8019.75	89037.08	0.10	69.75	464.24	0.16	83.2
5	7716.66	84534.26	0.09	78.91	510.61	0.15	81.0
6	5980.42	72815.18	0.08	39.76	288.05	0.14	86.8
7	5543.18	59626.41	0.10	30.64	246.52	0.16	86.1
8	6274.09	51949.37	0.12	46.34	223.84	0.20	85.6
9	6623.58	60811.90	0.11	46.61	248.62	0.18	86.2
10	4728.16	20244.88	0.25	22.53	55.40	0.42	90.3
11	11039.60	7599.20	1.52	61.26	24.40	2.59	88.7

## TRATAMIENTO F III 4 - P

#	materia seca. (PPm)			materia humeda. (me/l)			%H
	Na.	K	Na/K	Na.	K	Na/K	
2	13347.69	73506.99	0.18	136.50	441.59	0.31	81.0
3	15506.74	78549.60	0.20	138.21	411.25	0.34	83.0
4	14036.88	84369.84	0.17	142.62	501.91	0.28	81.0
5	6489.34	89234.00	0.08	56.13	448.52	0.13	83.7
6	4778.06	94638.12	0.05	42.31	488.90	0.08	83.4
7	5345.22	96477.25	0.06	43.81	464.81	0.10	84.1
8	6419.50	89533.98	0.07	29.84	247.07	0.12	90.3
9	7036.11	59491.77	0.12	43.07	212.85	0.20	87.7
10	19867.45	7732.79	5.00	72.84	16.44	8.51	92.3

## TRATAMIENTO N III 2 - F

#	materia seca (PPm)			materia húmeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	31040.32	26489.39	1.17	329.45	164.87	1.99	80.5
3	21945.88	40457.18	0.54	225.69	242.62	0.92	81.2
4	15238.63	46433.72	0.34	156.71	277.28	0.56	80.9
5	12165.87	57616.95	0.21	128.04	355.83	0.36	80.6
6	10319.75	60275.55	0.17	91.16	306.71	0.29	83.5
7	7143.88	58103.87	0.12	42.55	209.21	0.21	87.7
8	6699.41	80531.30	0.08	36.09	252.40	0.14	89.1
9	5172.06	68472.02	0.08	22.12	172.97	0.14	91.0
10	9940.25	11035.38	0.93	52.09	33.54	1.59	89.3

## TRATAMIENTO N III 4 - P

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			ZH
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	26415.36	1141.68	25.70	335.77	8.49	43.73	77.3
3	19248.17	3247.85	5.92	207.84	20.62	10.07	80.1
4	24476.81	5439.26	5.07	185.89	24.91	8.62	85.0
5	29540.97	17588.49	1.84	269.91	94.51	3.14	82.6
6	32168.49	24933.77	1.36	242.32	110.78	2.30	85.3
7	3410.25	19239.45	0.18	22.07	74.07	0.30	86.9
8	6284.10	56428.18	0.12	30.72	163.34	0.19	89.8
9	13248.50	5741.26	2.32	60.68	15.77	3.95	90.4

## TRATAMIENTO F I I - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	5629.15	7035.48	0.80	30.11	22.56	1.36	89.0
3	3312.88	7568.54	0.46	29.47	38.51	0.76	83.4
4	2986.54	7550.37	0.41	25.58	36.91	0.70	83.8
5	1322.58	6926.75	0.19	14.74	44.65	0.33	79.6
6	1543.87	9029.27	0.17	17.87	61.67	0.29	78.9
7	1643.80	14728.94	0.11	15.90	82.92	0.18	81.9
8	628.45	17366.01	0.04	5.83	80.53	0.07	84.6
9	2281.00	21769.48	0.11	17.45	97.90	0.18	85.1
10	946.00	28003.66	0.03	7.94	138.25	0.06	83.9
11	1756.89	34029.44	0.05	11.82	133.03	0.09	86.9
12	1233.77	34457.16	0.04	9.18	150.66	0.06	85.4
13	2074.26	35618.97	0.06	13.67	143.05	0.10	86.5
14	2008.18	36404.11	0.06	13.11	139.43	0.09	87.0
15	2479.84	37222.57	0.07	20.15	178.92	0.12	84.1
16	1766.19	36323.33	0.05	12.11	146.18	0.08	86.4
17	2410.07	35244.87	0.07	14.36	121.84	0.12	88.1

## TRATAMIENTO F I 2 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	5467.15	4055.28	1.39	37.92	16.43	2.36	86.3
3	5019.43	4436.83	1.25	41.81	21.84	2.12	84.1
4	4328.12	5588.79	0.81	39.66	30.48	1.37	82.5
5	5477.50	3326.51	1.81	47.80	17.39	3.08	83.5
6	2615.41	3147.26	1.15	24.46	18.55	1.97	81.9
7	2748.97	2544.87	1.12	24.09	12.55	1.90	83.6
8	1684.20	5177.03	0.34	15.81	28.50	0.57	82.4
9	2014.77	7169.81	0.31	17.56	37.00	0.54	83.4
10	1578.39	8946.31	0.18	13.63	46.06	0.30	83.3
11	2410.83	20524.77	0.12	19.17	93.99	0.20	84.8
12	2538.44	25473.18	0.10	23.58	141.30	0.17	82.2
13	3020.36	36611.03	0.09	21.25	152.45	0.15	86.0
14	2556.65	37219.88	0.07	16.50	139.16	0.12	87.3
15	3469.83	39912.44	0.09	26.69	185.52	0.15	84.7
16	3057.26	41759.32	0.08	18.76	151.34	0.13	87.6
17	2208.11	36597.17	0.06	13.61	134.49	0.11	87.5

## TRATAMIENTO F I 4 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			ZH
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	6584.12	8090.24	0.81	43.23	31.20	1.38	86.9
3	6329.75	7465.01	0.83	55.36	38.34	1.50	83.1
4	5406.88	7039.84	0.80	60.89	46.82	1.37	79.5
5	4577.96	5266.48	0.90	41.98	28.18	1.53	82.7
6	3518.00	5538.49	0.76	34.20	31.43	1.30	81.6
7	3629.48	7043.18	0.57	32.77	39.22	0.97	82.5
8	2164.35	16849.76	0.15	18.91	86.09	0.25	83.3
9	2450.18	38945.16	0.06	22.97	211.90	0.11	82.5
10	2956.84	31105.00	0.09	31.80	195.62	0.16	80.3
11	1922.02	14138.90	0.14	21.86	95.69	0.24	79.1
12	1734.66	11526.79	0.18	18.12	71.10	0.31	80.6
13	3468.05	16695.08	0.21	32.07	91.04	0.35	82.5
14	3849.15	32422.16	0.12	36.40	181.12	0.20	82.1
15	4415.69	45269.17	0.10	31.98	195.16	0.16	85.5
16	3189.99	36922.39	0.09	23.79	165.47	0.15	85.2
17	6218.11	19224.33	0.33	44.18	81.18	0.56	86.0

## TRATAMIENTO N I 1 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	3018.25	10533.84	0.30	13.39	28.01	0.52	90.6
3	3468.45	11547.49	0.30	30.14	59.77	0.52	83.5
4	2644.81	11633.69	0.23	17.08	44.20	0.39	87.1
5	2504.97	12657.41	0.20	21.82	64.54	0.34	83.3
6	1876.15	14032.28	0.13	16.98	75.53	0.23	82.7
7	2233.04	12977.62	0.17	20.64	70.85	0.30	82.5
8	2137.46	12510.49	0.17	15.30	52.51	0.30	85.9
9	2618.54	12962.71	0.20	16.88	48.83	0.35	87.1
10	2043.85	13655.00	0.17	17.87	63.99	0.30	84.0
11	2769.34	14037.98	0.21	21.32	65.45	0.35	84.9
12	3357.09	15302.47	0.23	27.27	72.89	0.39	84.3
13	4211.28	18425.61	0.23	30.49	78.65	0.39	85.7
14	4726.91	21077.38	0.23	32.09	85.45	0.40	86.5
15	5046.00	19937.66	0.25	31.14	72.06	0.42	87.7
16	4821.77	16749.18	0.28	25.13	51.18	0.47	89.3
17	4107.43	15012.90	0.27	22.15	47.57	0.46	89.0

## TRATAMIENTO N I 2 - H

#	materia seca (PPm)			materia húmeda (mg/l)			ZH
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	4756.31	5526.19	0.95	28.15	19.51	1.62	88.1
3	4021.99	4617.00	0.84	23.76	16.26	1.43	87.8
4	3976.21	4569.22	0.90	30.28	20.46	1.53	85.1
5	3415.64	4020.81	0.84	26.29	18.32	1.43	84.9
6	2312.84	4938.66	0.54	18.30	22.85	0.92	84.5
7	2668.44	4291.11	0.61	17.54	16.62	1.04	86.9
8	2109.48	4136.45	0.48	14.82	16.88	0.82	86.4
9	1923.76	5968.76	0.35	11.68	20.19	0.60	88.1
10	2556.81	9284.22	0.26	13.82	30.53	0.45	88.3
11	2413.54	9741.61	0.29	20.88	52.38	0.47	83.0
12	2487.10	14699.03	0.17	18.54	63.16	0.29	85.6
13	3106.78	19126.44	0.17	25.86	93.28	0.28	84.0
14	3985.61	19572.05	0.20	25.97	75.85	0.34	86.7
15	3077.50	25769.55	0.12	19.25	94.45	0.20	87.5
16	3849.15	14822.39	0.27	25.27	57.51	0.46	86.8
17	4795.02	10478.26	0.47	21.70	27.68	0.79	90.6

## TRATAMIENTO N I 4 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			ZH
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	4976.35	1524.16	4.51	32.07	5.81	7.66	87.1
3	4519.24	1999.41	2.45	33.00	8.79	4.17	85.4
4	4168.05	1438.76	3.07	27.22	5.73	5.22	86.6
5	3016.84	1880.99	1.78	27.20	9.79	3.03	83.0
6	1635.47	1326.78	1.76	17.04	7.75	3.00	81.1
7	1768.42	7644.91	0.24	16.78	42.78	0.40	82.0
8	2014.68	15674.06	0.14	16.37	74.14	0.24	84.3
9	3518.54	20231.95	0.18	30.07	101.30	0.30	83.9
10	2518.84	21369.48	0.12	19.77	98.64	0.21	84.7
11	1273.05	26172.66	0.05	11.44	133.26	0.08	83.6
12	1874.16	33938.24	0.06	16.95	176.92	0.09	83.2
13	2068.41	26591.11	0.08	19.66	148.54	0.13	82.1
14	2164.02	26631.77	0.08	17.07	123.44	0.14	84.6
15	4681.25	19592.00	0.24	29.57	73.10	0.41	87.2
16	3336.85	16229.38	0.20	21.76	62.40	0.35	86.9
17	8869.87	5625.49	1.58	46.10	17.13	2.68	89.4

## TRATAMIENTO F I I 2 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	6499.24	14933.26	0.45	32.20	42.79	0.77	89.9
3	5943.19	14276.24	0.43	44.38	62.42	0.73	85.3
4	7085.44	14769.28	0.48	50.02	61.43	0.83	86.0
5	6746.16	13524.87	0.51	45.23	53.90	0.86	86.6
6	5144.88	13922.08	0.37	43.83	69.80	0.63	83.7
7	4491.00	15247.72	0.28	40.09	79.29	0.48	83.6
8	3826.47	22039.28	0.19	30.94	105.16	0.33	84.3
9	4216.75	27019.41	0.16	35.69	131.02	0.27	84.0
10	3368.10	38722.45	0.09	23.04	155.23	0.15	86.5
11	4988.57	47533.19	0.11	30.40	172.89	0.19	87.7
12	4367.89	51124.62	0.09	28.38	195.34	0.14	87.0
13	3546.81	55406.22	0.07	24.82	226.81	0.11	86.3
14	4978.64	58832.17	0.09	28.43	197.66	0.15	88.4
15	8078.60	57929.19	0.14	76.62	316.96	0.24	82.3
16	3919.57	64618.71	0.06	21.34	208.30	0.11	88.9
17	5645.18	52514.82	0.11	28.83	149.56	0.19	89.9

## TRATAMIENTO F I I 4 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na.	K	Na./K	Na.	K	Na./K	
2	4576.34	5524.16	0.87	37.91	26.77	1.48	84.1
3	4689.16	4819.02	1.12	48.66	29.25	1.92	80.8
4	4120.59	3795.22	1.17	37.56	20.58	1.99	83.1
5	4299.27	6967.90	0.61	38.54	36.18	1.04	83.2
6	4436.18	6210.75	0.70	42.12	34.60	1.19	82.1
7	3041.76	10192.44	0.32	24.60	48.55	0.55	84.3
8	3411.28	9746.78	0.35	21.35	35.61	0.60	87.5
9	3351.27	13241.66	0.26	29.50	69.32	0.44	83.1
10	4378.94	14799.07	0.29	32.62	65.43	0.49	85.3
11	4576.81	13694.71	0.35	39.38	71.80	0.59	83.3
12	4261.87	9785.93	0.43	35.05	47.05	0.72	84.4
13	5034.87	13922.98	0.44	43.23	62.95	0.75	84.4
14	4587.54	17625.19	0.31	34.78	77.23	0.53	85.3
15	4466.89	14426.75	0.31	28.70	54.53	0.53	87.2
16	8732.18	11839.27	0.74	56.85	45.48	1.26	87.0
17	7944.08	8281.01	0.96	43.31	26.52	1.64	88.9

## TRATAMIENTO N I I 2 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (mg/l)			%H
	Na	K	Na./K	Na.	K	Na./K	
2	4697.50	12834.19	0.39	20.33	33.79	0.66	90.7
3	3020.98	13872.14	0.22	18.97	51.11	0.37	87.4
4	2935.47	16869.44	0.18	26.47	86.29	0.31	83.2
5	2016.55	18241.01	0.11	15.76	84.41	0.19	84.7
6	2564.77	20030.54	0.14	21.84	96.97	0.23	83.9
7	2062.45	20075.16	0.10	13.70	78.38	0.17	86.8
8	1833.57	21569.48	0.08	15.94	109.23	0.14	83.5
9	2419.88	25226.77	0.10	21.19	130.71	0.16	83.2
10	2006.80	29524.61	0.07	20.79	180.57	0.12	80.7
11	2499.75	33316.84	0.08	21.53	169.03	0.13	83.4
12	2716.54	31808.34	0.09	21.85	151.01	0.15	84.4
13	2267.51	34621.59	0.06	15.30	133.91	0.11	87.0
14	3462.03	36924.01	0.10	27.72	173.60	0.17	84.5
15	2976.24	36299.17	0.08	19.62	140.82	0.14	86.8
16	4691.53	35619.44	0.14	31.31	133.36	0.24	87.2
17	14037.67	24515.00	0.58	70.62	72.06	0.98	89.6

## TRATAMIENTO N II 4 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	4937.15	2556.18	2.49	37.50	11.11	4.23	85.2
3	5997.50	1439.87	5.35	47.41	6.74	9.09	84.6
4	5233.87	2016.87	2.66	36.28	8.52	4.53	85.7
5	5070.58	2713.41	1.90	47.32	15.06	3.23	82.4
6	3362.54	1525.62	2.29	27.36	7.44	3.90	84.0
7	5247.56	9839.26	0.53	43.04	47.63	0.91	84.1
8	7346.81	9644.37	0.81	72.00	55.76	1.30	81.6
9	6875.19	15524.61	0.46	66.28	86.67	0.79	82.0
10	7436.48	13620.78	0.53	57.14	61.57	0.91	84.9
11	7763.16	14514.89	0.51	56.09	60.97	0.86	86.0
12	7164.45	13280.65	0.55	53.87	60.09	0.92	85.0
13	7946.89	12967.61	0.61	64.55	61.60	1.04	84.3
14	8032.40	15621.88	0.53	64.36	73.57	0.90	84.4
15	5341.16	14968.20	0.39	35.57	59.21	0.64	86.7
16	4571.33	12712.11	0.38	33.61	54.05	0.65	85.7
17	15048.31	12462.80	1.26	70.97	34.03	2.15	90.3

## TRATAMIENTO F IV 2 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			ZH
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	3628.15	9133.05	0.42	17.51	25.74	0.72	90.0
3	3365.94	8875.90	0.39	25.38	39.04	0.66	85.3
4	3567.10	10066.74	0.36	33.37	55.14	0.61	82.2
5	2685.04	11130.17	0.23	18.20	44.14	0.40	86.6
6	2434.75	13200.58	0.18	18.58	59.19	0.32	85.2
7	3616.87	19857.43	0.19	29.18	94.94	0.32	84.4
8	2831.00	20812.54	0.15	21.53	94.90	0.26	85.0
9	2516.77	26004.63	0.10	24.02	147.54	0.16	81.8
10	1819.44	26534.26	0.07	16.33	149.45	0.13	82.5
11	3417.15	28799.30	0.12	31.19	154.19	0.20	82.8
12	2522.32	32014.55	0.08	20.15	149.99	0.14	84.5
13	4367.34	33231.08	0.13	36.78	164.59	0.22	83.8
14	2611.89	37522.84	0.07	19.66	164.56	0.12	85.3
15	2010.57	36045.12	0.07	11.98	120.24	0.11	88.3
16	2931.11	35311.87	0.08	14.83	105.13	0.14	89.5
17	7418.21	28762.08	0.26	37.25	86.26	0.44	89.6

## TRATAMIENTO F IV 4 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (mg/l)			%H
	Na	K	Na./K	Na	K	Na./K	
2	2541.35	5572.90	0.46	17.09	22.04	0.77	86.6
3	3106.84	5531.24	0.66	32.72	34.01	1.12	80.5
4	2796.42	7085.64	0.39	30.35	45.04	0.67	80.3
5	1634.11	8913.94	0.20	15.30	47.09	0.33	82.7
6	1876.48	14361.55	0.16	17.08	75.04	0.27	82.9
7	1261.84	14638.11	0.09	8.00	54.76	0.15	87.3
8	1755.19	17862.54	0.10	13.16	74.98	0.17	85.4
9	1234.06	17468.16	0.07	9.89	82.39	0.12	84.4
10	1426.74	20421.02	0.07	12.16	100.89	0.12	83.8
11	1827.56	24516.89	0.08	16.73	133.35	0.13	82.5
12	861.75	26324.42	0.03	6.04	110.49	0.06	86.0
13	1264.08	31708.61	0.04	10.06	149.81	0.07	84.4
14	744.30	34469.87	0.02	5.86	158.45	0.04	84.7
15	1467.66	29331.46	0.05	12.14	139.18	0.09	84.3
16	1643.33	27268.99	0.06	12.24	121.23	0.11	85.3
17	5461.19	28532.05	0.19	36.19	110.75	0.33	86.8

## TRATAMIENTO N IV 2 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda. (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	6532.14	3766.51	1.78	45.56	15.46	3.02	86.3
3	4968.75	4644.68	1.16	46.17	25.50	1.98	82.3
4	4516.88	5735.11	0.80	41.52	31.02	1.36	82.4
5	5257.14	5238.41	1.09	50.28	29.71	1.85	81.7
6	5369.48	4736.84	1.18	51.00	25.64	2.00	82.3
7	3711.04	6032.28	0.65	41.17	39.00	1.10	79.8
8	2422.16	4899.71	0.52	21.12	25.92	0.89	83.1
9	2843.66	4777.36	0.63	22.77	22.47	1.08	84.5
10	2545.10	5786.27	0.44	22.79	30.52	0.75	83.8
11	2005.41	10021.54	0.24	19.31	57.20	0.40	81.9
12	3261.48	13566.83	0.25	25.56	61.32	0.42	84.9
13	2268.47	16961.80	0.14	18.82	82.53	0.24	84.8
14	2341.11	26631.42	0.09	22.24	144.65	0.15	82.5
15	4467.51	28499.25	0.16	32.90	120.87	0.27	85.9
16	4233.18	28832.00	0.15	28.50	113.55	0.25	86.6
17	5293.55	23024.97	0.23	29.06	74.33	0.39	88.8

## TRATAMIENTO N IV 4 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	4876.45	14533.29	0.28	40.74	93.80	0.48	81.6
3	3846.98	15162.77	0.27	39.10	98.90	0.46	81.4
4	3724.01	17322.18	0.22	34.35	94.00	0.38	82.6
5	2936.22	18274.31	0.17	26.98	95.47	0.29	82.9
6	2510.64	23301.41	0.11	26.40	143.48	0.18	80.6
7	2344.11	24468.79	0.10	24.81	151.43	0.17	80.5
8	1657.19	24613.57	0.07	15.90	134.29	0.12	82.4
9	1896.76	28069.72	0.08	19.75	174.38	0.13	80.6
10	1835.24	28478.26	0.06	16.78	153.28	0.11	82.4
11	2549.77	28210.75	0.09	24.82	160.87	0.16	81.8
12	2179.64	29160.84	0.07	21.59	163.55	0.13	82.1
13	1266.00	32059.17	0.04	11.15	168.55	0.07	83.0
14	2046.87	32665.42	0.06	15.64	148.81	0.11	84.9
15	2368.16	35119.87	0.06	19.59	168.15	0.11	84.3
16	2975.24	39558.13	0.07	25.93	205.01	0.13	83.1
17	1867.44	32061.34	0.06	17.00	171.24	0.10	82.8

## TRATAMIENTO F III 1 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na.	K	Na./K	Na.	K	Na./K	
2	1538.64	41518.38	0.04	6.57	106.10	0.06	90.9
3	1652.04	43965.00	0.03	9.67	149.50	0.07	88.3
4	1321.87	43422.17	0.03	6.43	121.62	0.06	90.1
5	1463.68	42891.32	0.03	8.74	151.86	0.06	87.9
6	1594.25	43926.75	0.04	8.14	119.94	0.06	90.3
7	1427.33	43662.01	0.03	9.13	167.29	0.06	87.0
8	2278.59	45160.87	0.05	13.99	169.40	0.09	87.1
9	2026.45	47492.33	0.04	11.13	150.79	0.07	89.1
10	2543.64	50546.69	0.05	14.42	155.14	0.09	89.2
11	3154.00	42731.85	0.07	14.03	103.59	0.13	91.4
12	8769.48	31517.11	0.28	31.66	65.45	0.49	92.4
13	3624.09	7762.89	0.54	13.91	19.14	0.92	91.9

## TRATAMIENTO F III 2 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na.	K	Na./K	Na.	K	Na./K	
2	3167.01	4034.18	0.87	17.01	13.11	1.47	88.9
3	2415.79	11761.82	0.22	9.67	27.36	0.37	91.7
4	2739.11	15362.76	0.18	15.88	52.56	0.30	88.2
5	2120.33	19769.37	0.12	11.64	58.29	0.19	89.7
6	2957.14	26211.55	0.11	17.10	90.46	0.19	88.2
7	2688.49	30789.16	0.10	16.30	110.49	0.16	87.6
8	2047.98	35454.76	0.06	13.99	135.31	0.10	86.9
9	3252.00	41332.05	0.08	17.00	125.56	0.14	89.4
10	2877.15	33699.14	0.08	13.71	96.58	0.15	89.9
11	4439.60	7613.25	0.58	16.00	16.12	0.99	92.4

## TRATAMIENTO F I I I 4 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na./K	Na	K	Na./K	
2	1487.23	20433.18	0.07	9.50	77.61	0.13	87.1
3	1035.48	21785.69	0.05	6.34	74.87	0.08	88.9
4	1447.11	24721.22	0.06	8.74	82.22	0.10	88.6
5	930.18	27981.00	0.03	4.22	75.17	0.06	90.5
6	1684.99	35361.77	0.05	11.52	142.06	0.09	86.4
7	1882.66	40471.98	0.05	11.62	147.59	0.08	87.5
8	921.08	49031.57	0.02	5.92	184.45	0.03	87.1
9	2147.06	44168.24	0.05	11.84	146.81	0.08	88.5
10	1876.55	33338.52	0.06	8.59	98.12	0.10	90.5

## TRATAMIENTO N III 1 - H

#	materia seca (PPm)			materia humeda (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	1889.64	24468.19	0.08	8.08	61.43	0.13	91.1
3	2637.21	27312.68	0.10	15.26	91.85	0.16	88.5
4	1962.15	28695.17	0.08	8.64	68.31	0.13	91.4
5	2247.69	30946.08	0.08	14.08	116.93	0.13	87.2
6	1739.82	35594.76	0.05	11.60	141.50	0.08	86.6
7	1980.33	40789.33	0.05	11.46	138.91	0.08	88.2
8	1131.04	46538.11	0.02	5.56	137.26	0.04	89.6
9	2420.16	43024.68	0.05	9.89	106.57	0.10	91.2
10	12954.45	35726.01	0.37	46.60	76.10	0.62	92.4
11	4362.11	10234.81	0.45	13.44	19.08	0.76	93.3

## TRATAMIENTO N III 2 - H

#	materia. seca (PPm)			materia. humeda. (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	1024.66	26535.18	0.04	6.96	105.99	0.07	86.5
3	3047.88	27438.69	0.11	23.09	124.26	0.19	84.9
4	2166.69	28533.14	0.08	14.87	114.38	0.13	86.5
5	2275.15	32261.79	0.07	13.40	110.81	0.12	88.2
6	1733.20	35200.50	0.05	9.71	115.23	0.10	88.7
7	2048.01	41158.06	0.05	12.55	152.39	0.08	87.4
8	1669.44	37965.21	0.04	7.18	94.75	0.08	91.1
9	2471.70	30188.82	0.08	12.70	89.42	0.15	89.6
10	2457.99	25206.47	0.10	10.99	62.20	0.17	91.2

## TRATAMIENTO N III 4 - H

#	materia. seca. (PPm)			materia. humeda. (me/l)			%H
	Na.	K	Na./K	Na.	K	Na./K	
2	3526.09	19382.51	0.19	34.00	108.63	0.31	82.0
3	3981.16	16976.33	0.23	31.98	79.93	0.40	84.5
4	3824.91	18604.87	0.20	31.08	88.27	0.35	84.4
5	1979.44	18942.57	0.12	16.08	86.46	0.21	84.6
6	3536.88	17361.79	0.20	17.17	49.60	0.35	90.0
7	4097.53	12227.45	0.36	26.84	44.88	0.61	87.2
8	6057.16	11921.48	0.51	22.82	26.71	0.88	92.0
9	6520.43	9667.55	0.70	27.44	29.81	1.19	91.2

## TRATAMIENTO N III 4 - H

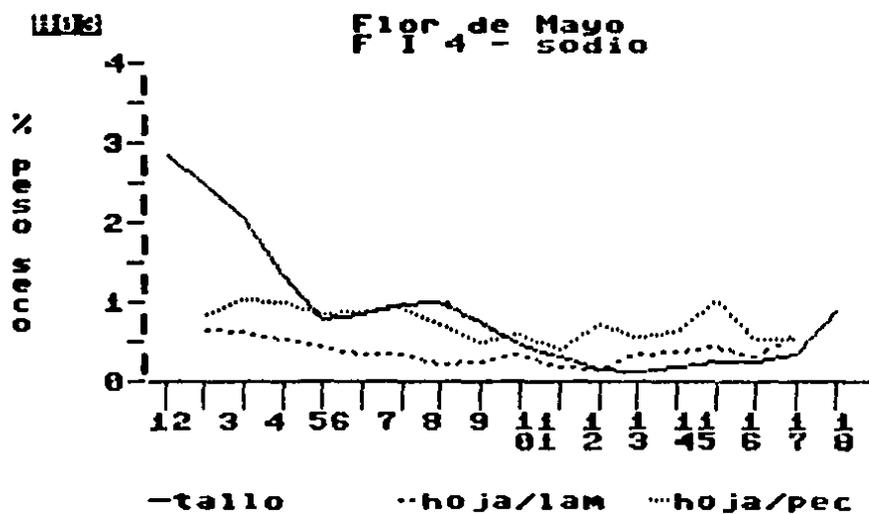
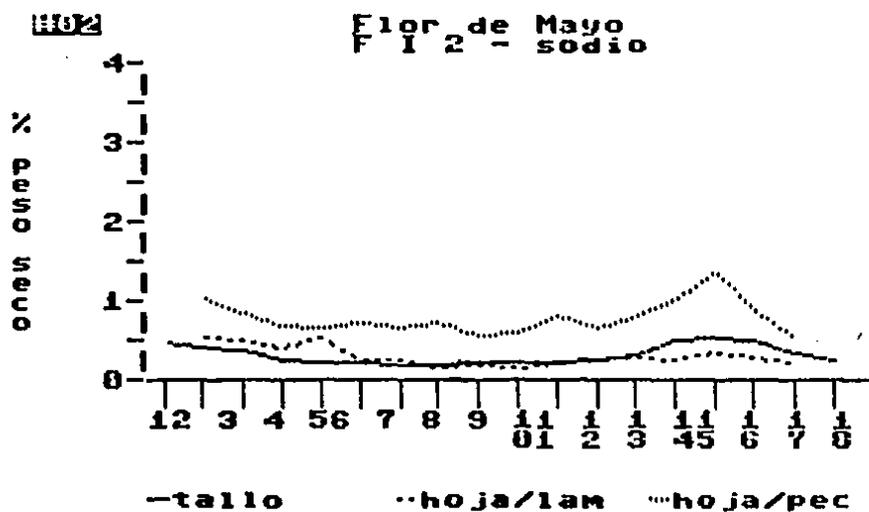
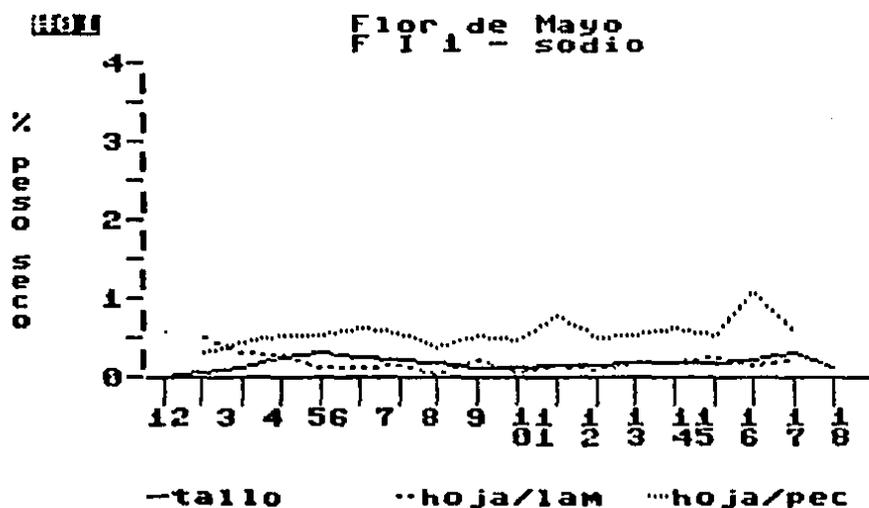
#	materia. seca. (PPm)			materia. humeda. (me/l)			%H
	Na	K	Na/K	Na	K	Na/K	
2	3526.09	19382.51	0.19	34.00	188.63	0.31	82.0
3	3981.16	16976.33	0.23	31.98	79.93	0.40	84.5
4	3824.91	18604.87	0.20	31.08	88.27	0.35	84.4
5	1979.44	18842.57	0.12	16.08	86.46	0.21	84.6
6	3536.88	17361.79	0.20	17.17	49.60	0.35	90.0
7	4097.53	12227.45	0.36	26.84	44.88	0.61	87.2
8	6057.16	11921.48	0.51	22.82	26.71	0.88	92.0
9	6520.43	9667.55	0.70	27.44	23.81	1.19	91.2

## RAIZ

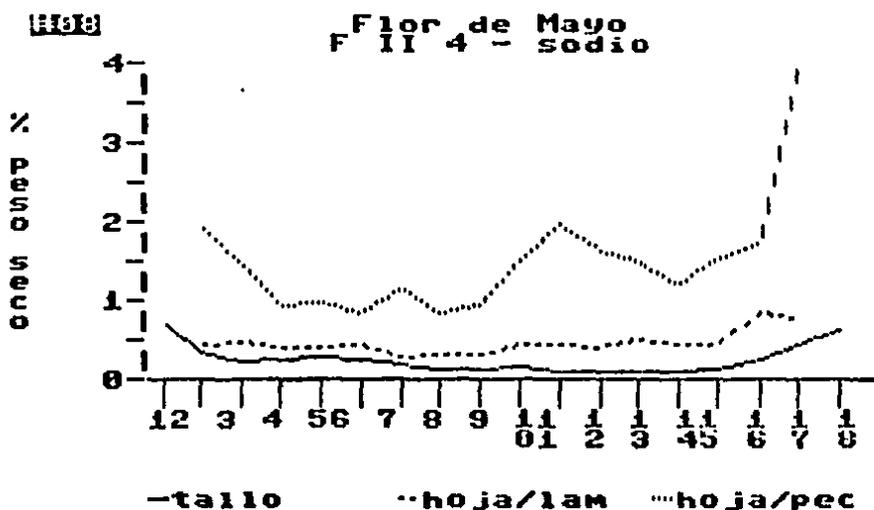
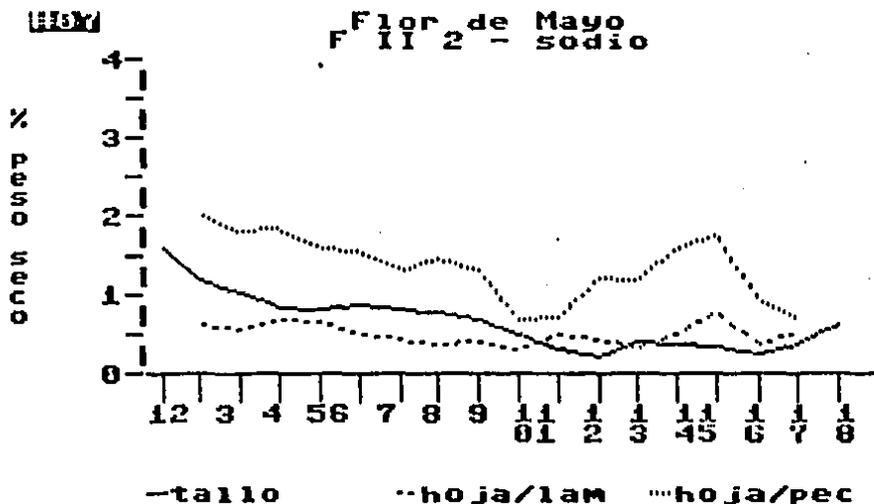
PPm

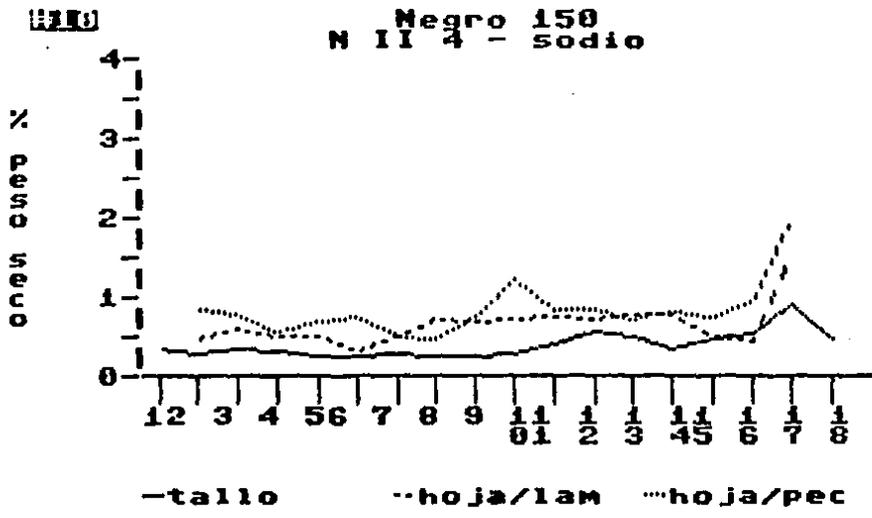
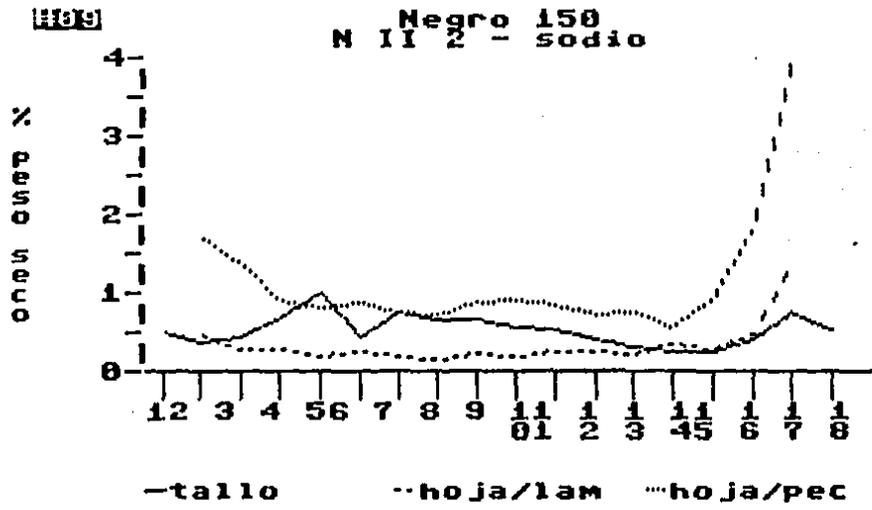
Trat.	Na	K	Na/K
FI1	8432.43	34355.06	0.24
FI2	13812.94	8126.15	1.69
FI4	13111.11	2333.33	3.75
NI1	7157.14	31475.35	0.22
NI2	11362.31	16760.86	0.67
NI4	15724.13	5629.65	2.79
FII2	11351.35	4197.97	2.70
FII4	6857.14	6935.20	0.98
NII2	10077.92	31748.05	0.31
NII4	8746.98	8445.18	1.03
FIV2	10342.54	11832.59	0.87
FIV4	5294.11	7159.41	0.73
NIV2	10515.46	9292.26	1.13
NIV4	8971.96	30813.08	0.29
FIII1	5734.04	43598.93	0.13
FIII2	12631.57	22872.36	0.55
FIII4	15344.26	15280.32	1.00
NIII1	5736.58	26754.14	0.21
NIII2	10251.25	20941.20	0.48
NIII4	20375.76	19372.05	1.05

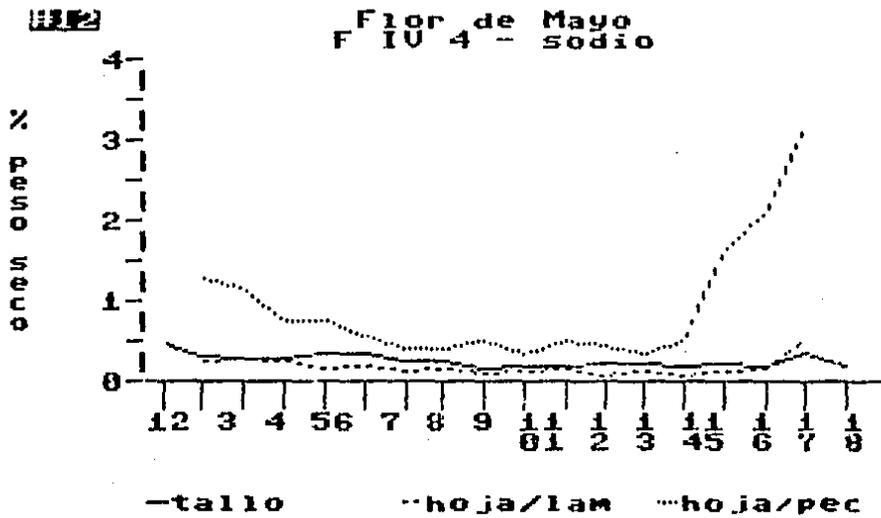
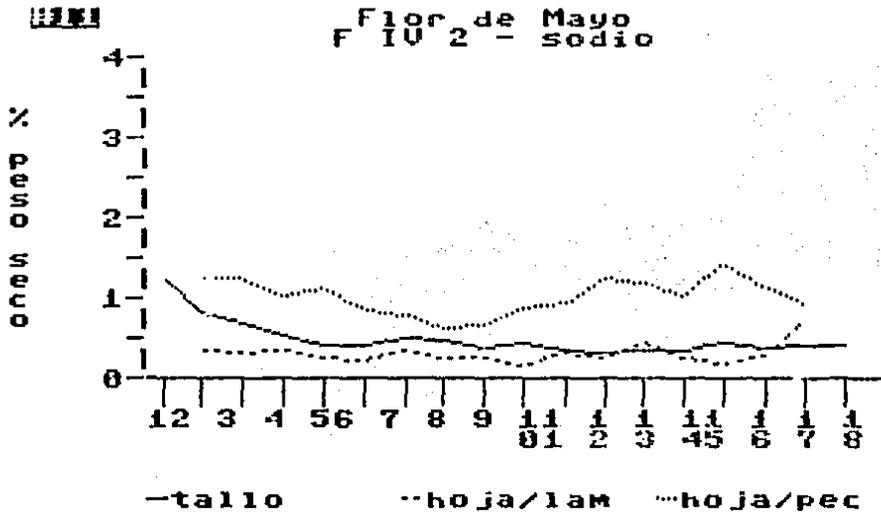
**APENDICE II**  
**GRAFICAS**

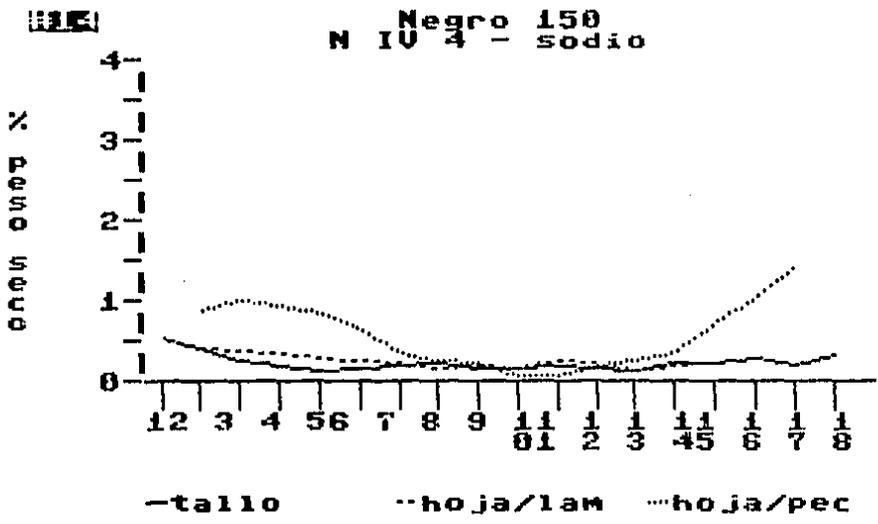
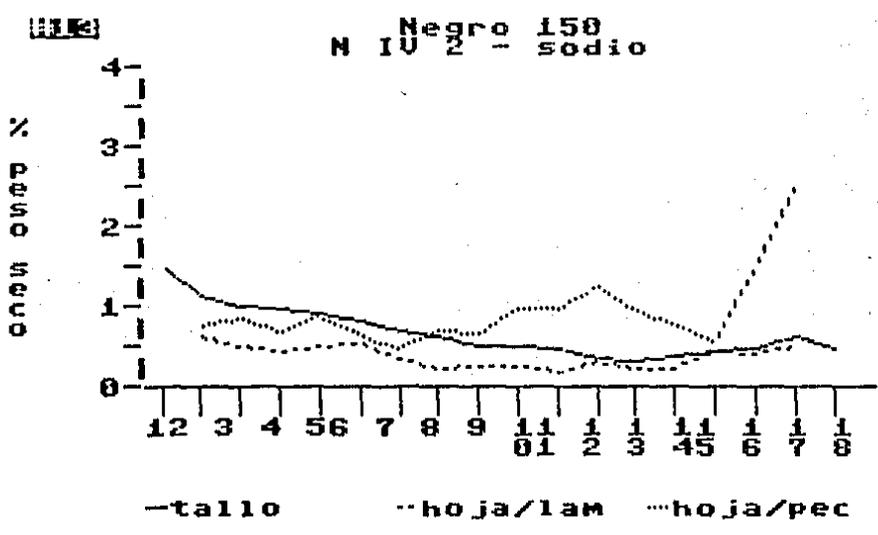




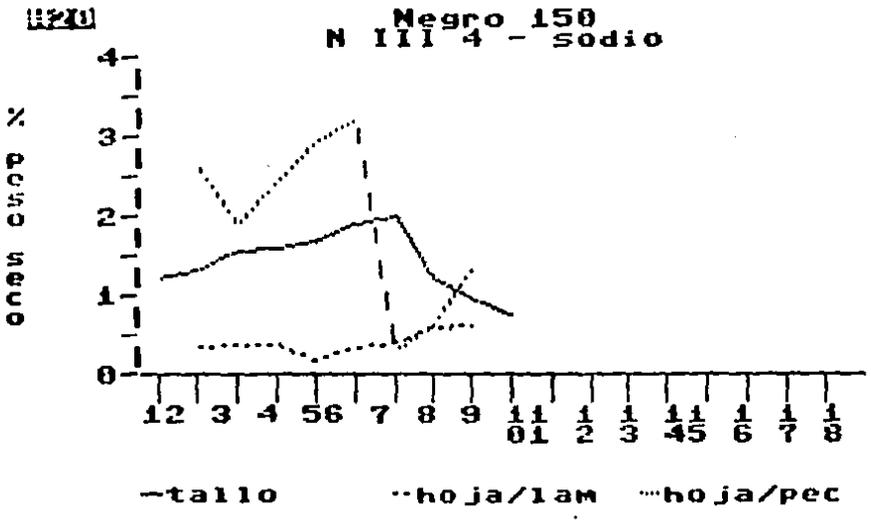
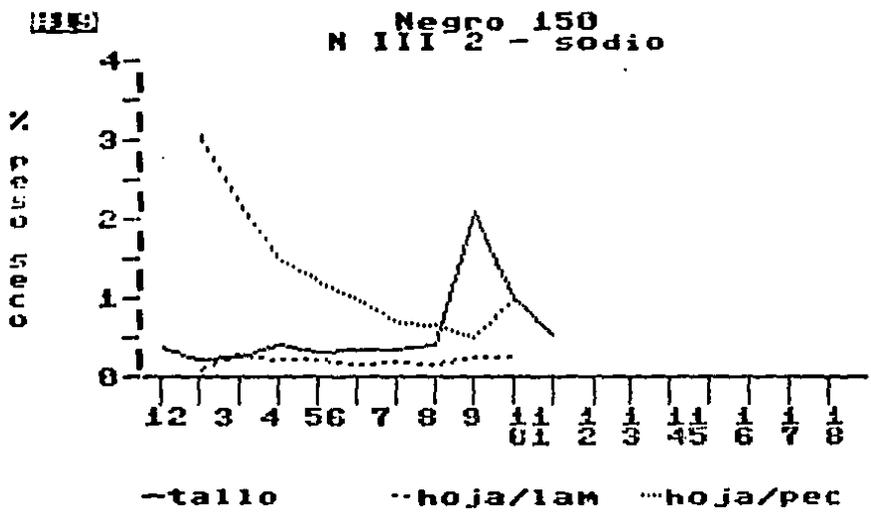
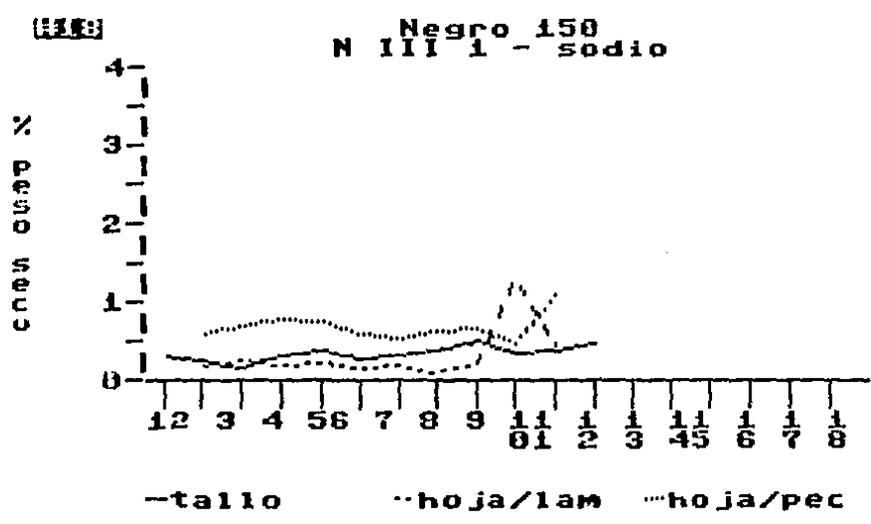


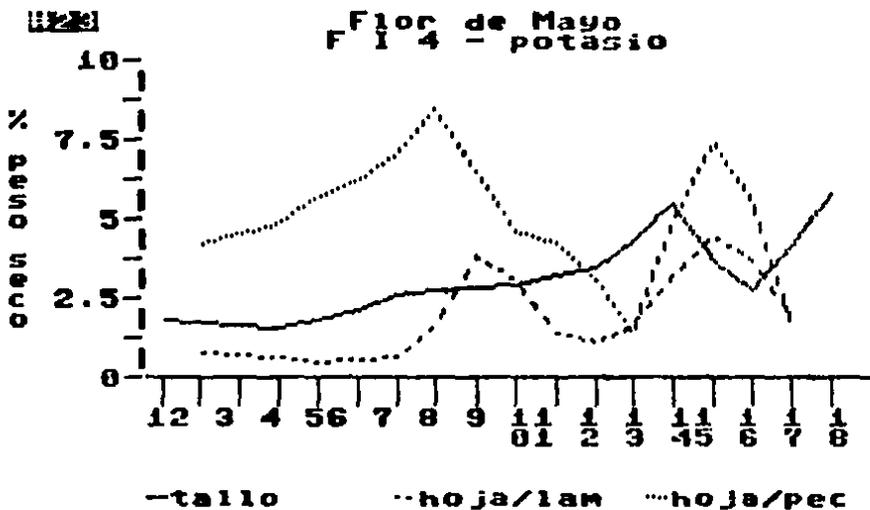
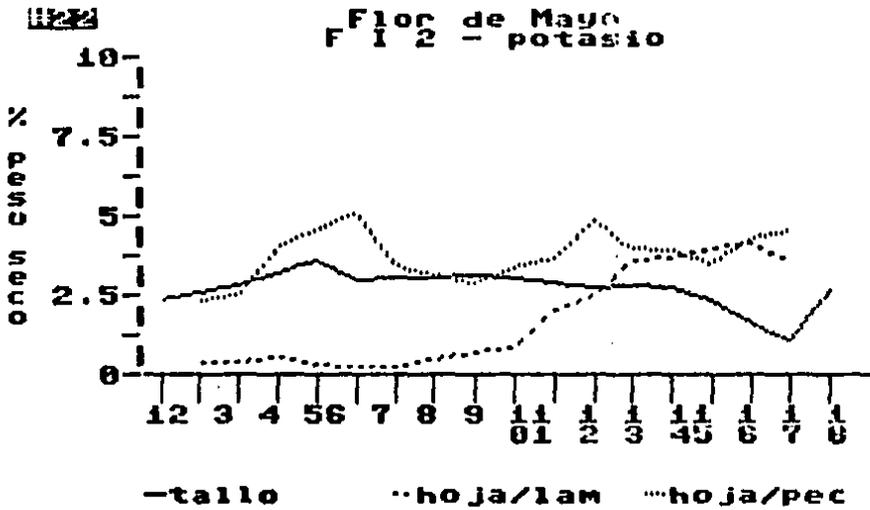
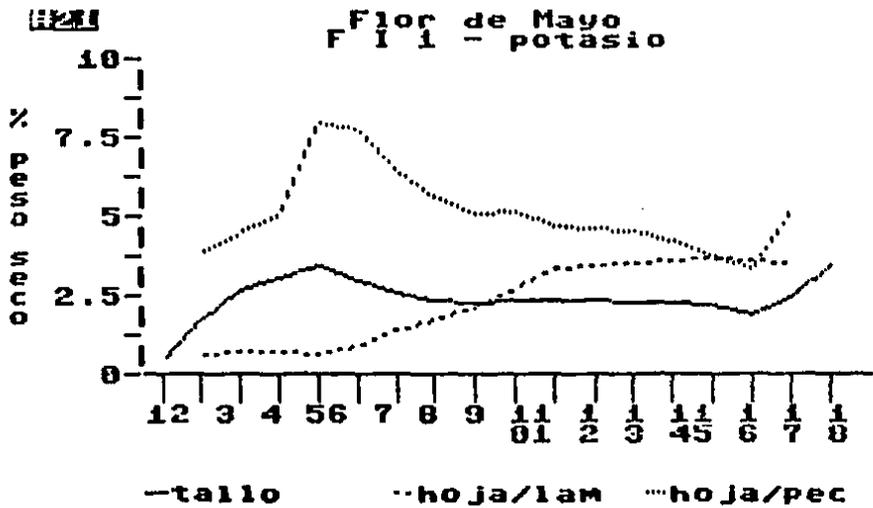


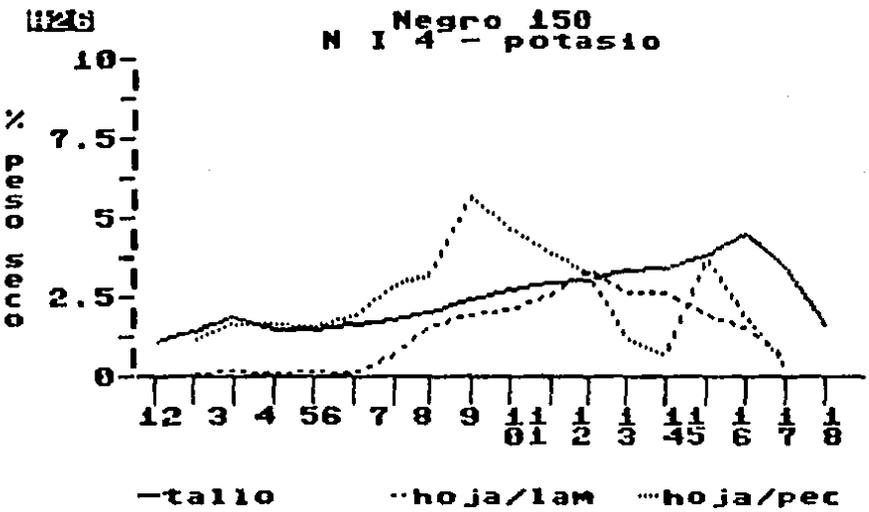
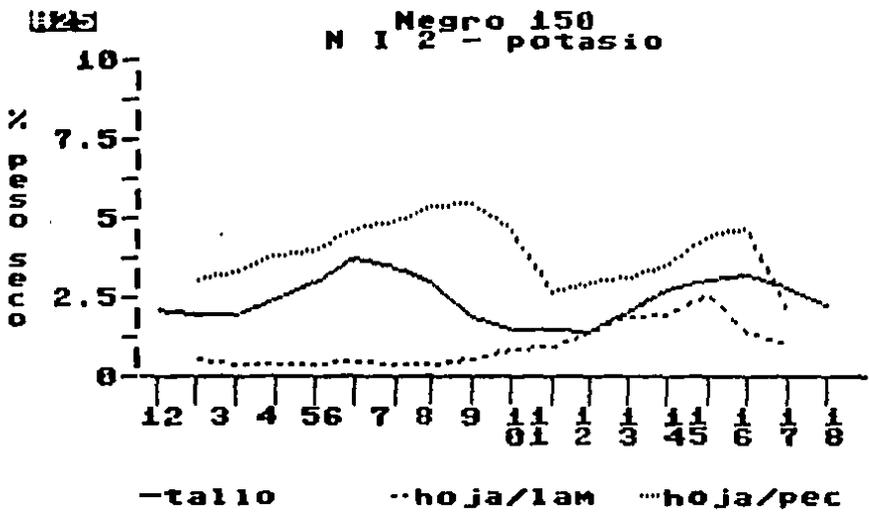
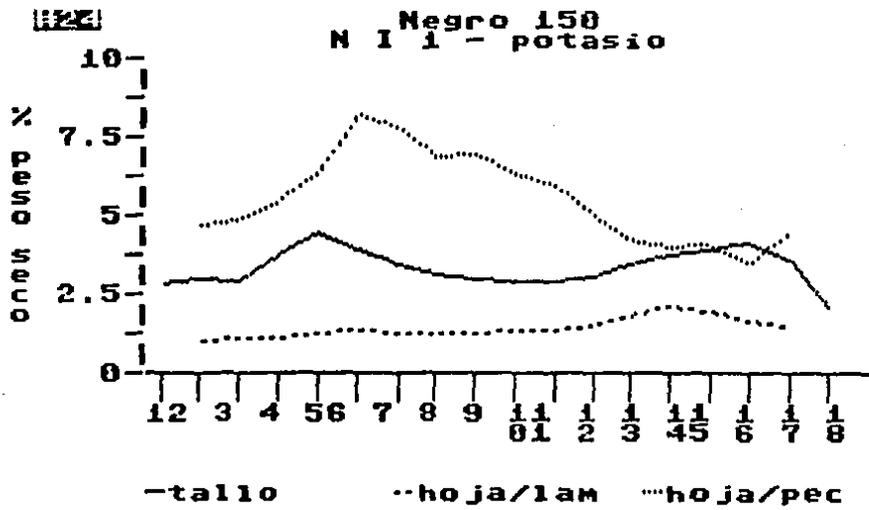


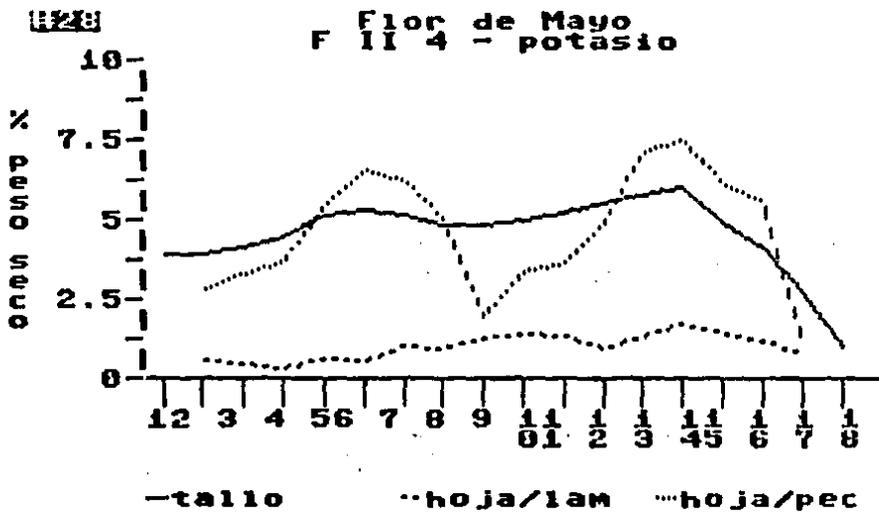
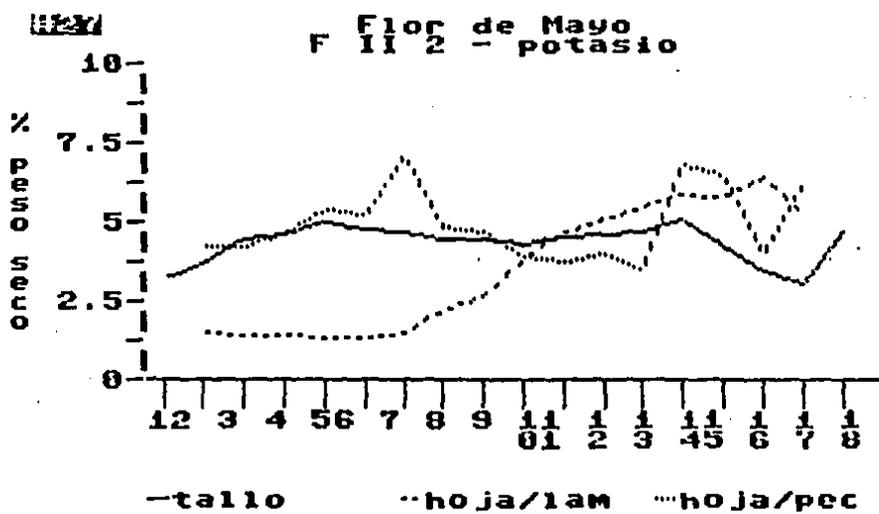


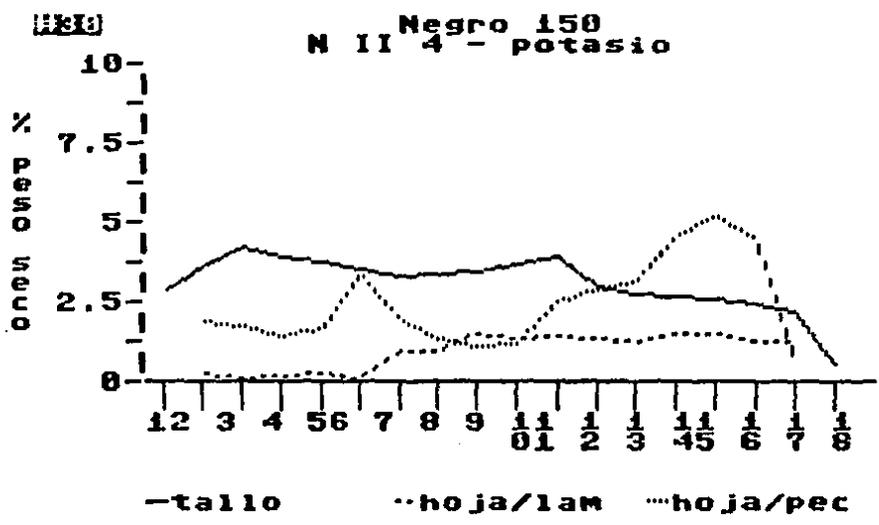
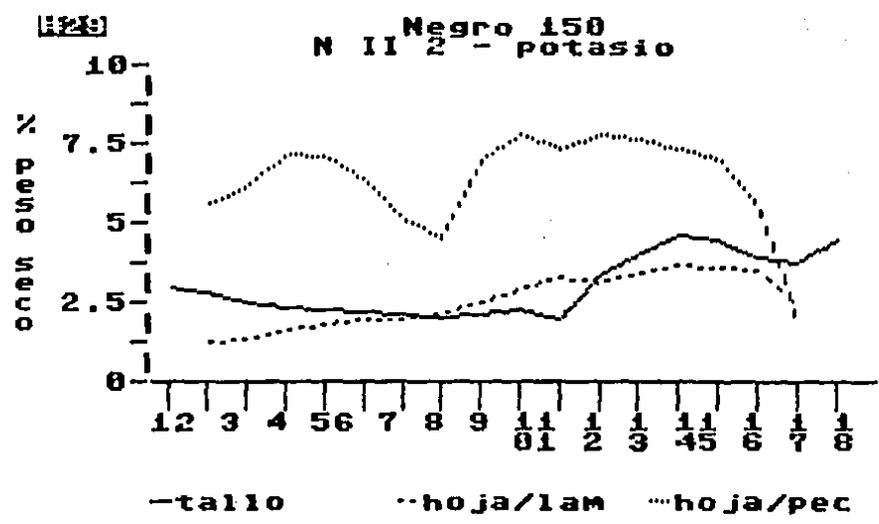


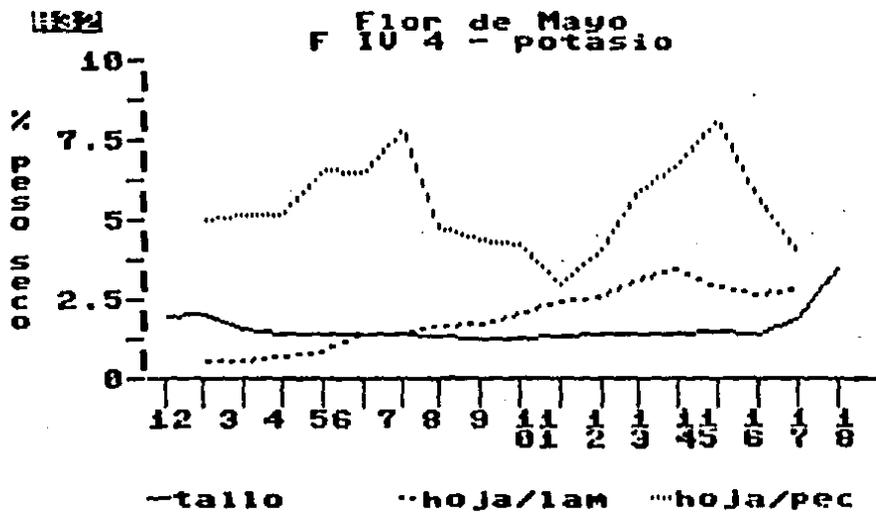
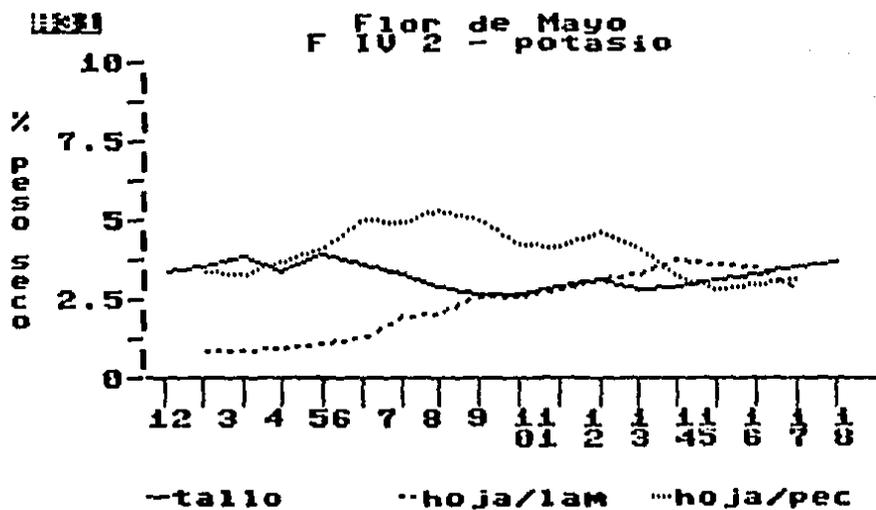


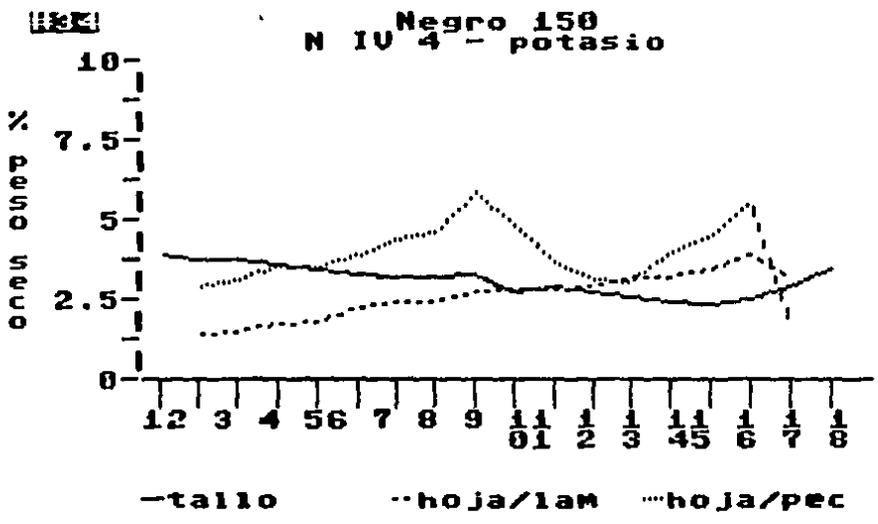
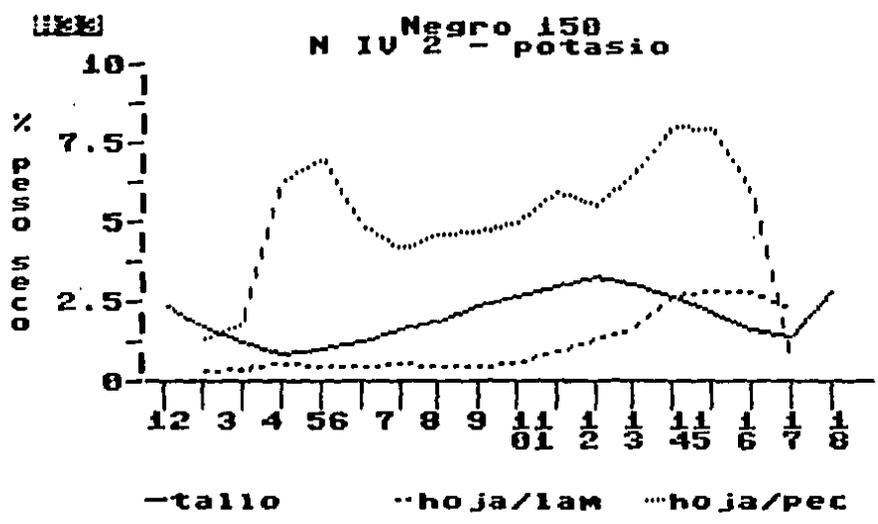


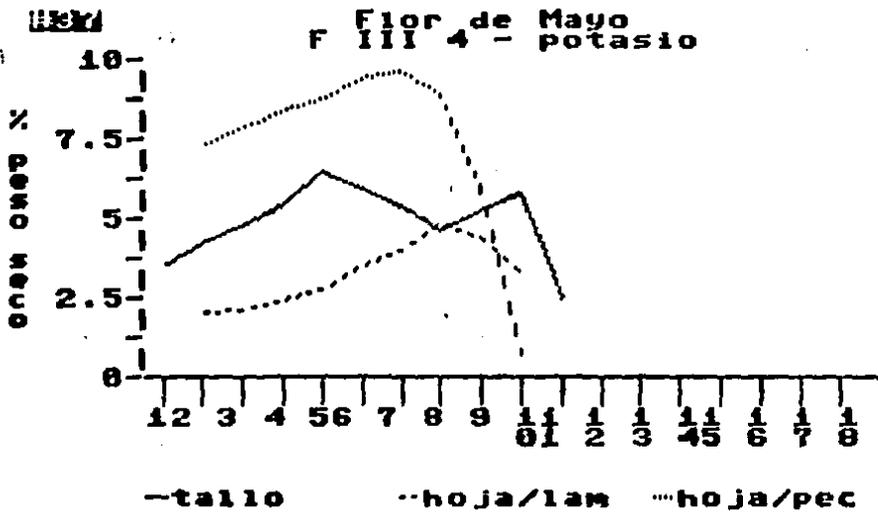
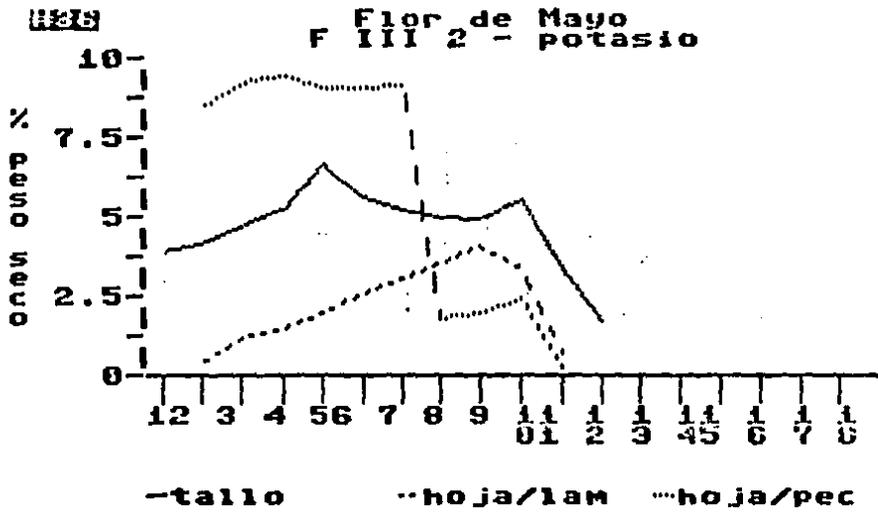
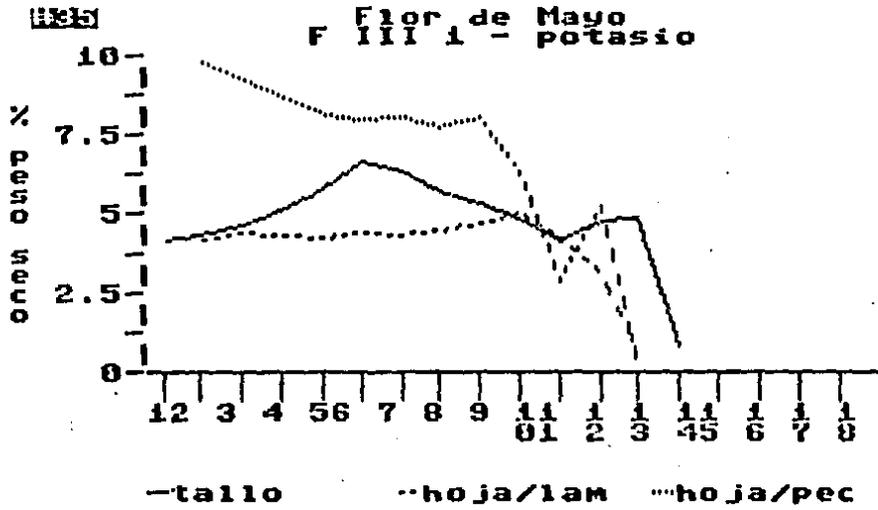


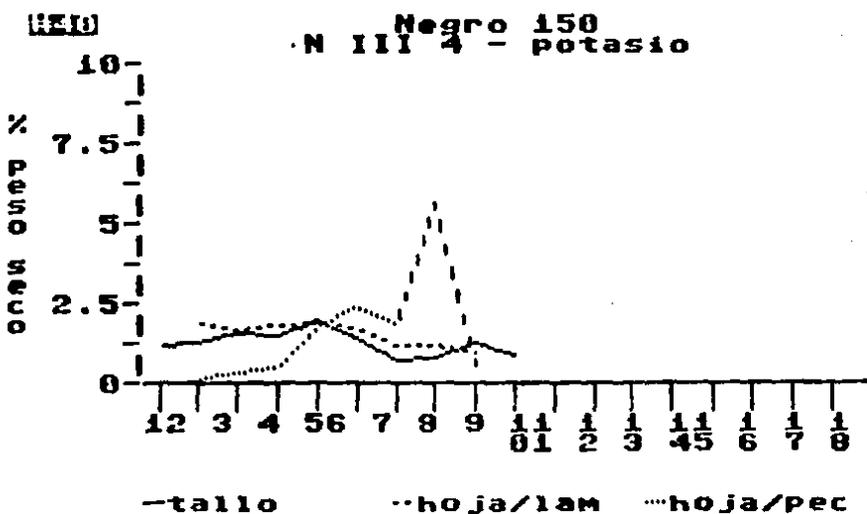
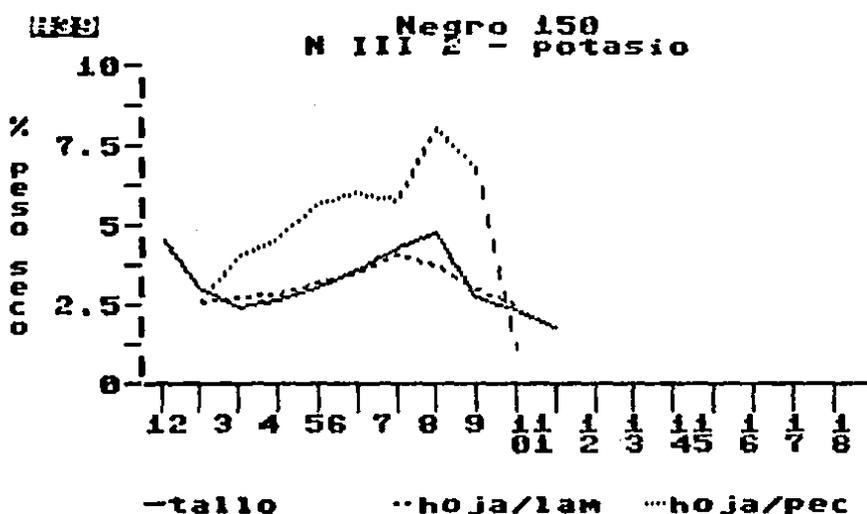
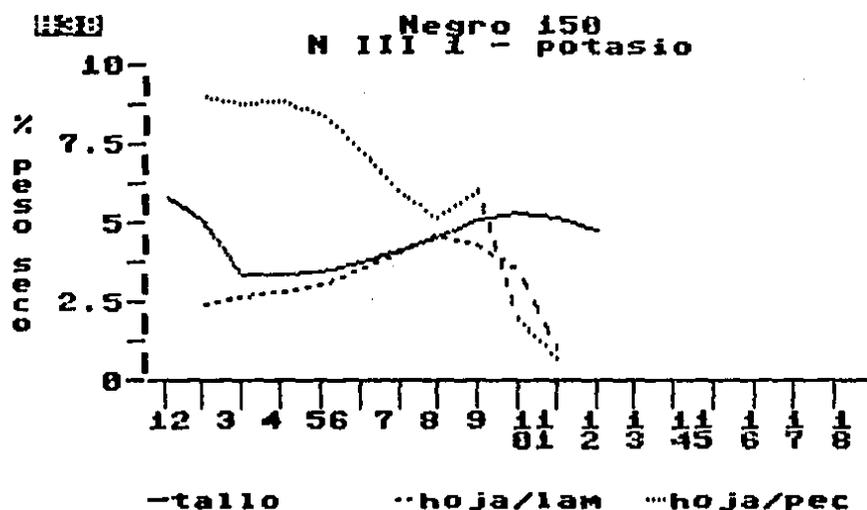


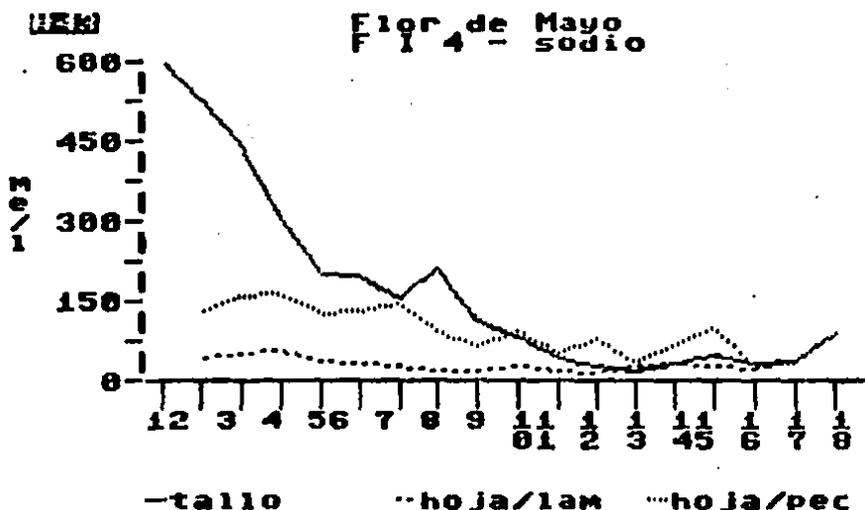
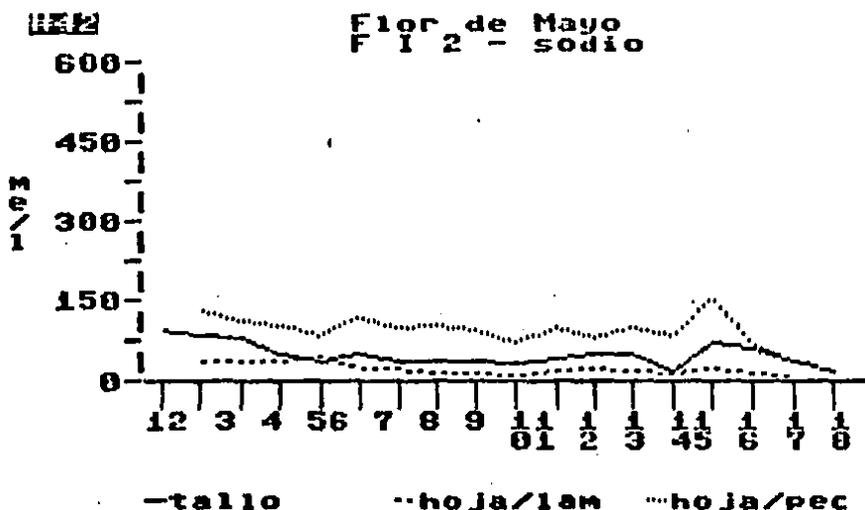
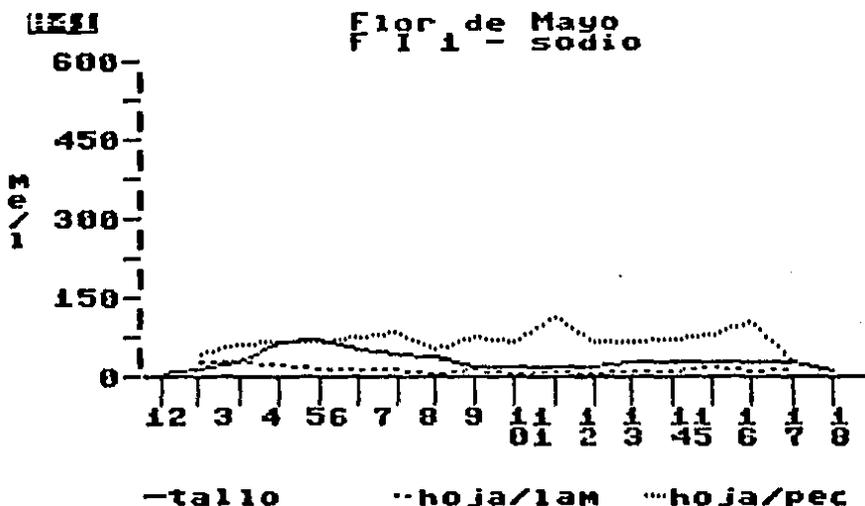


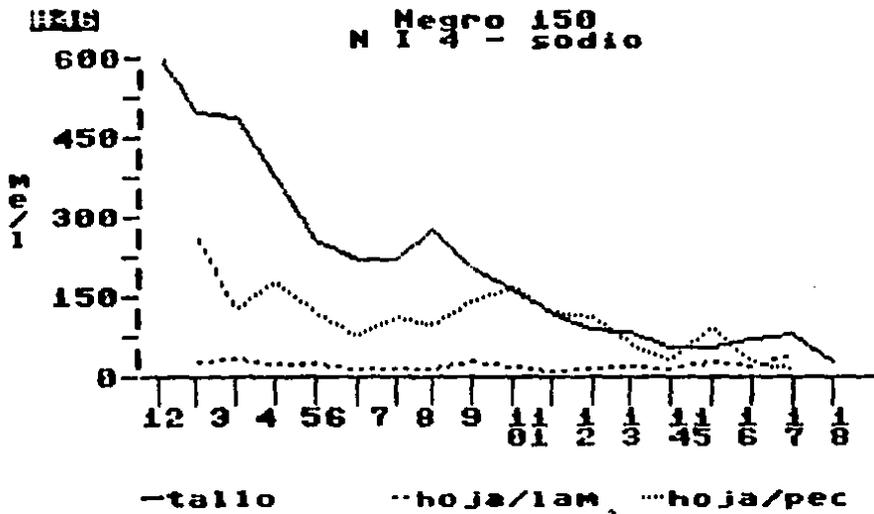
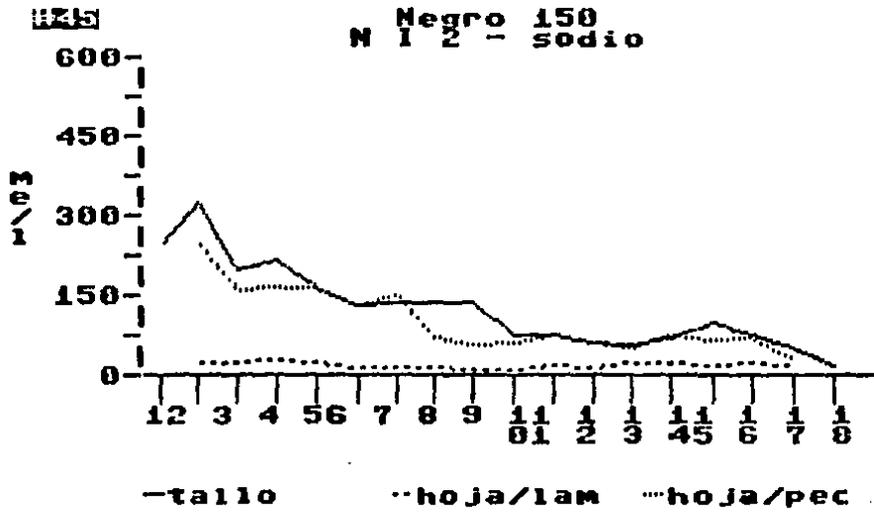
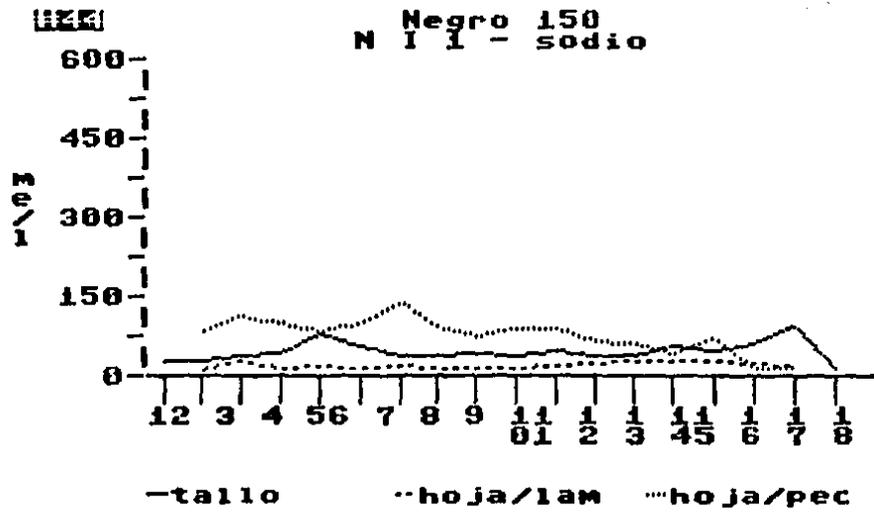


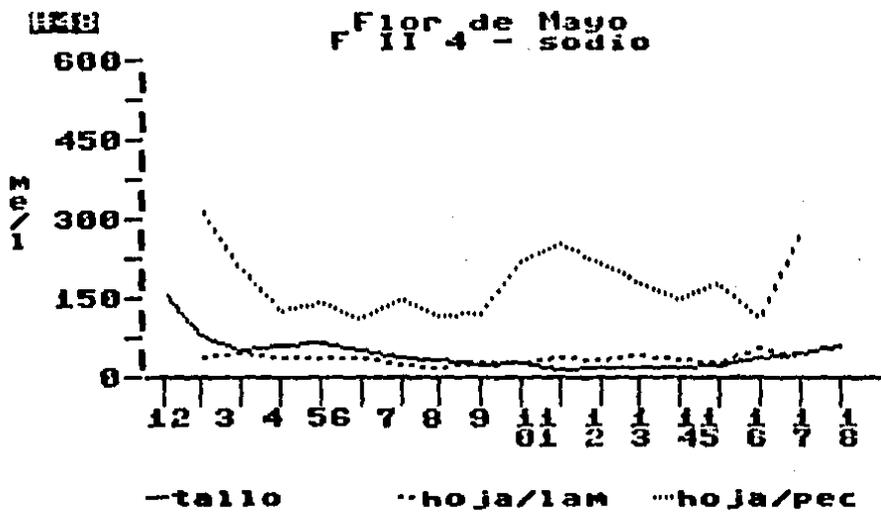
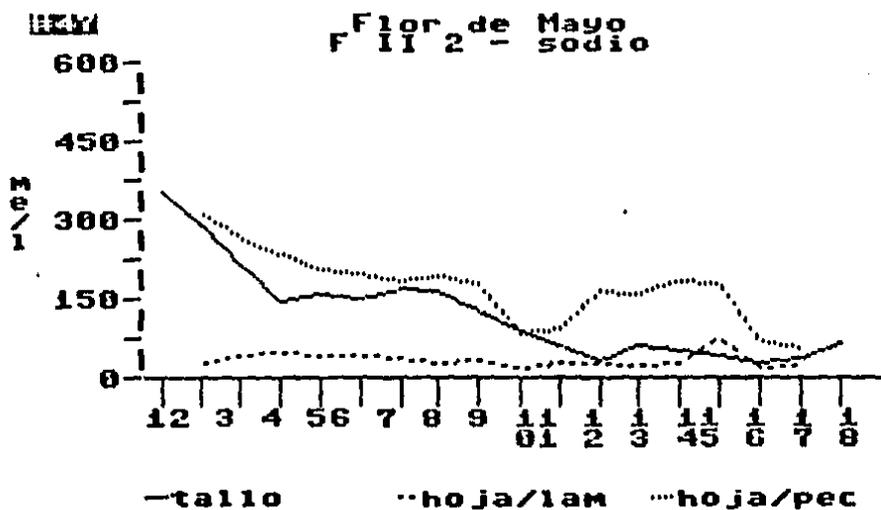


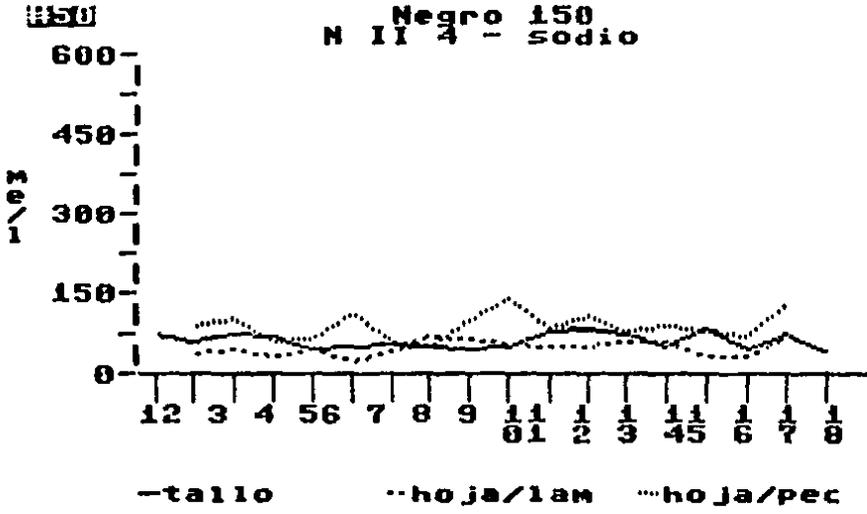
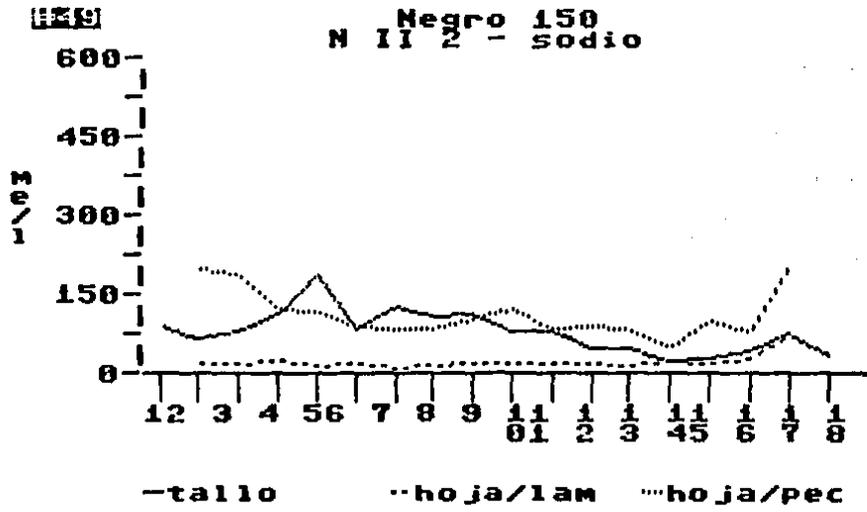


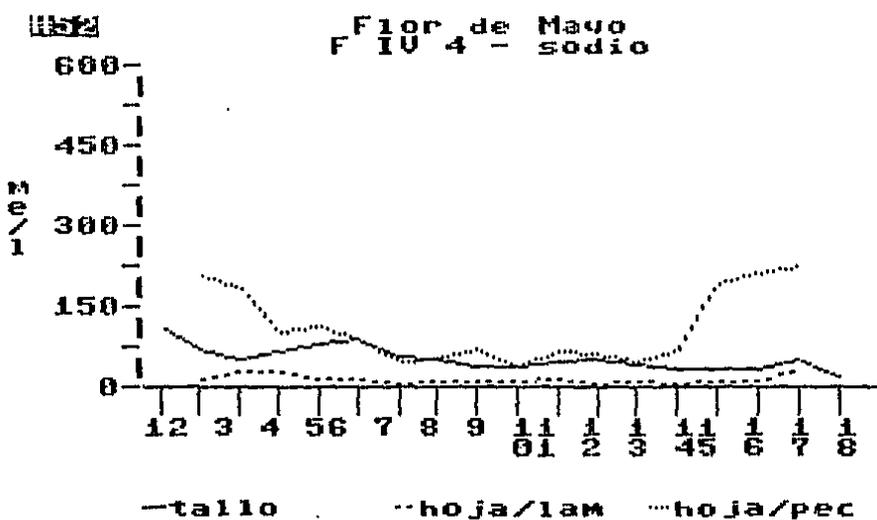
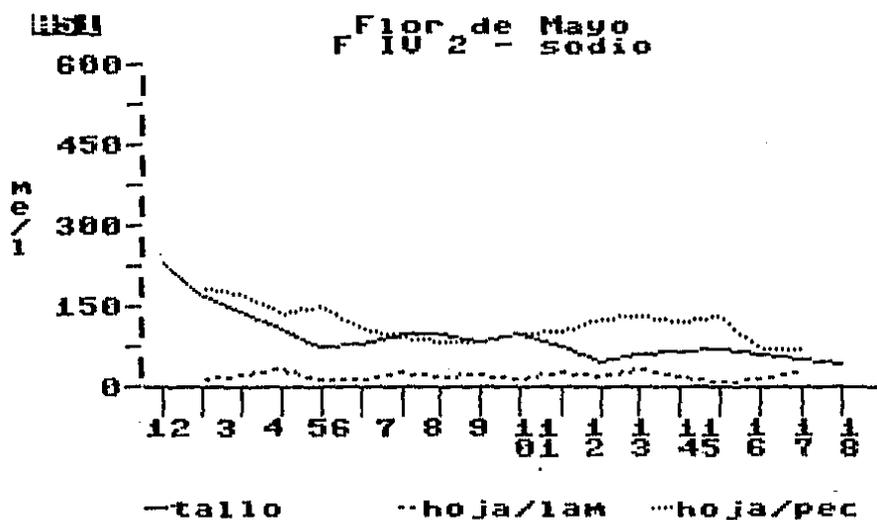


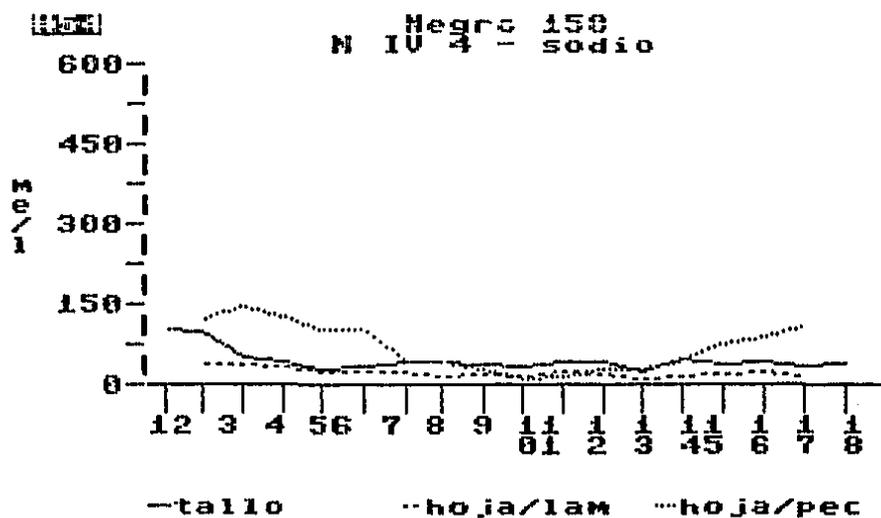
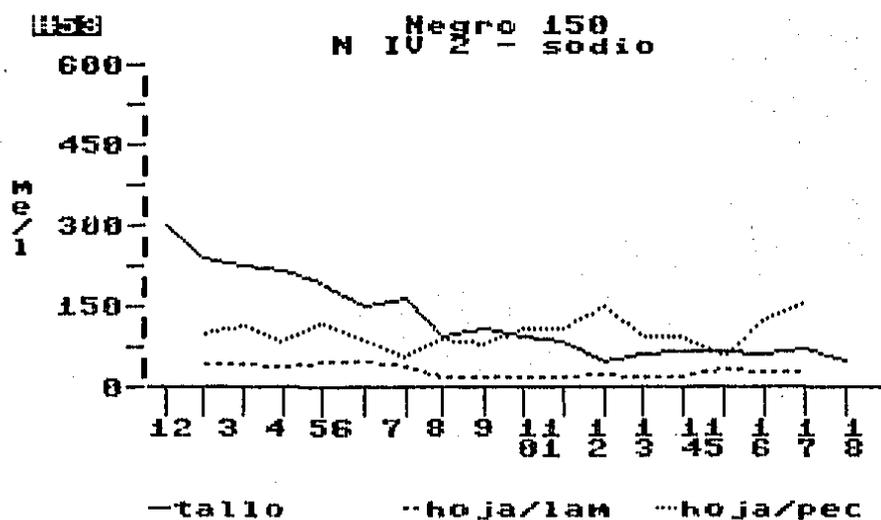


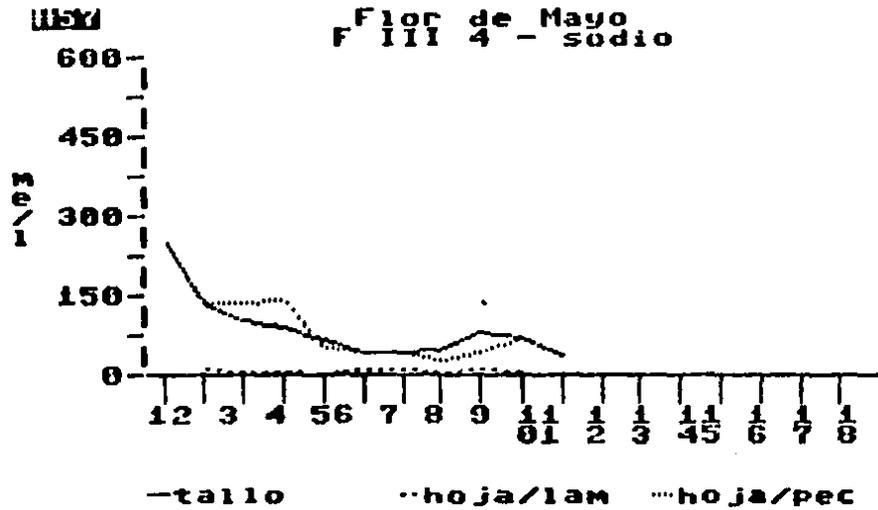
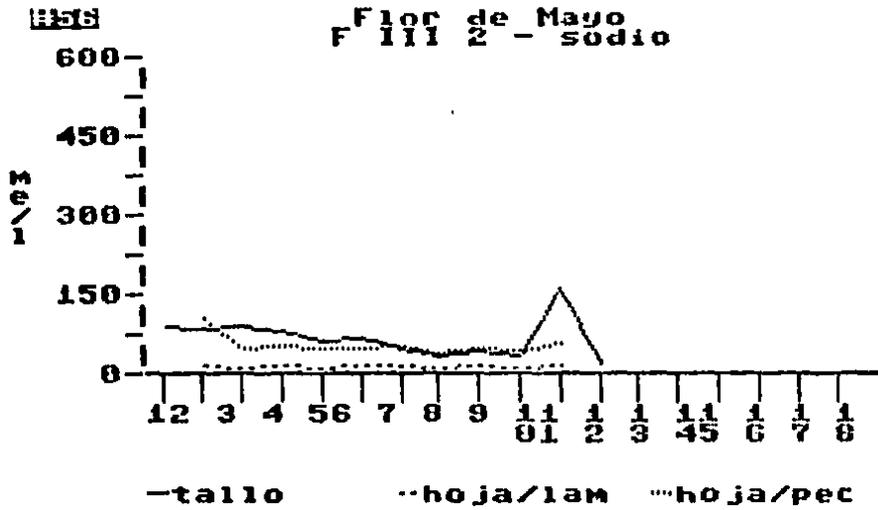
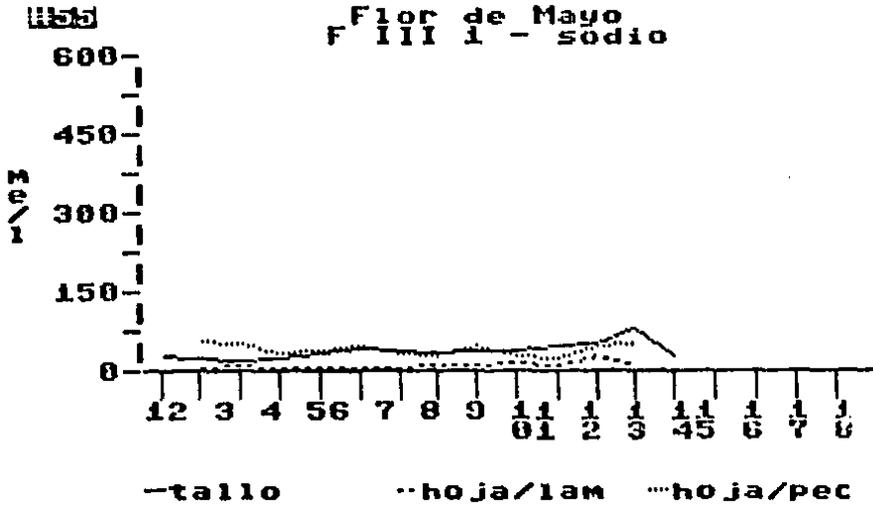


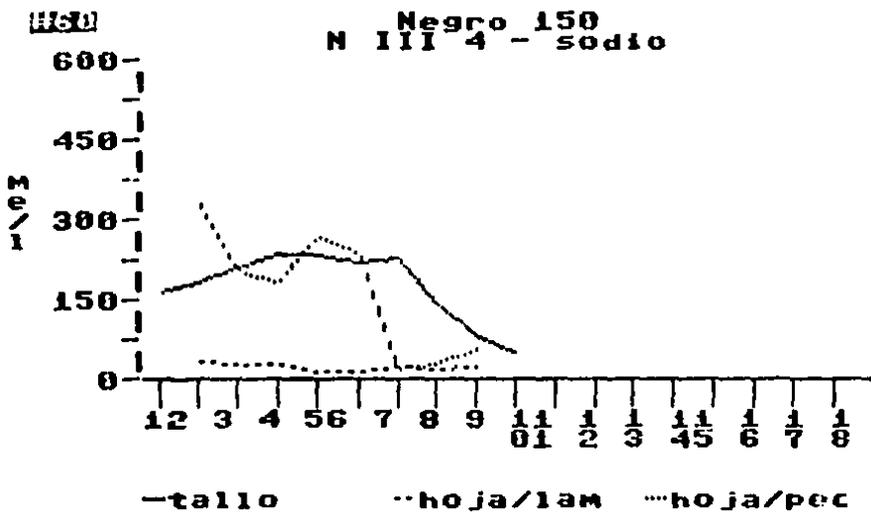
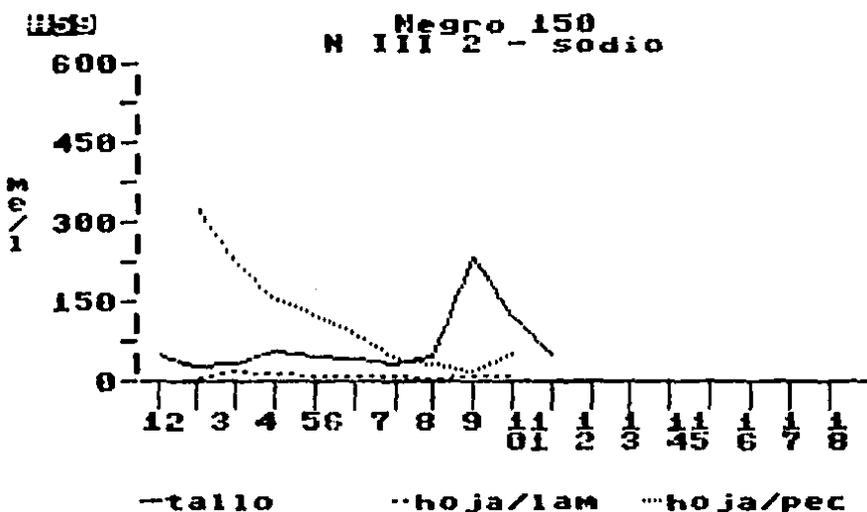
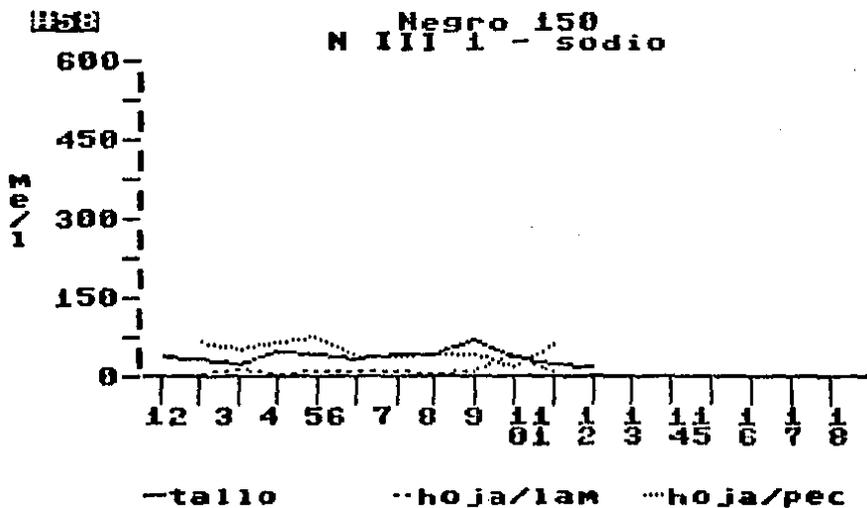


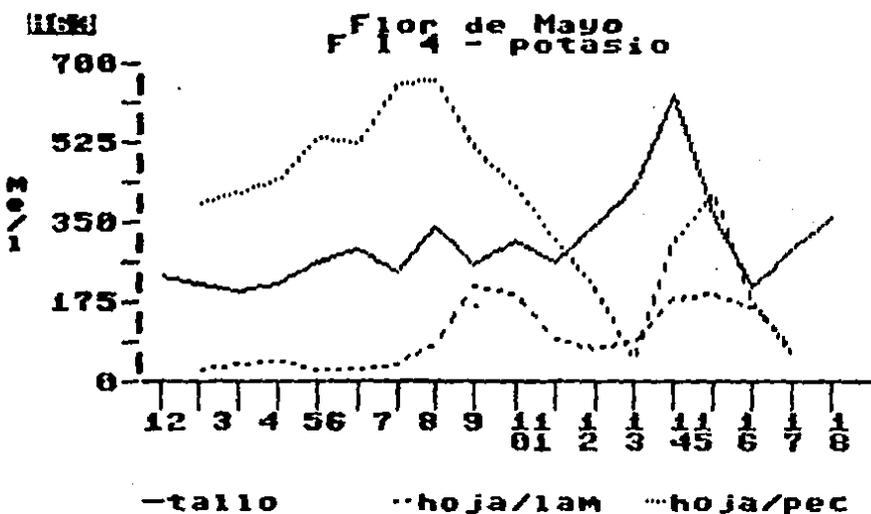
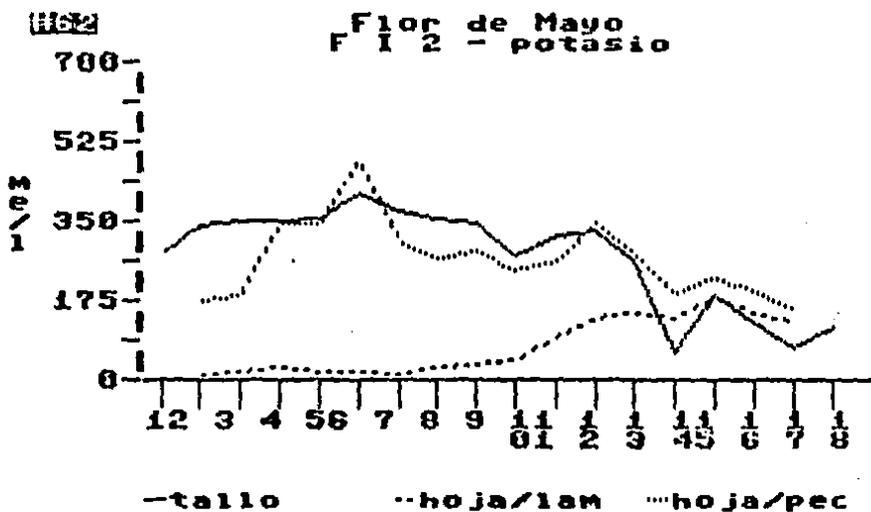
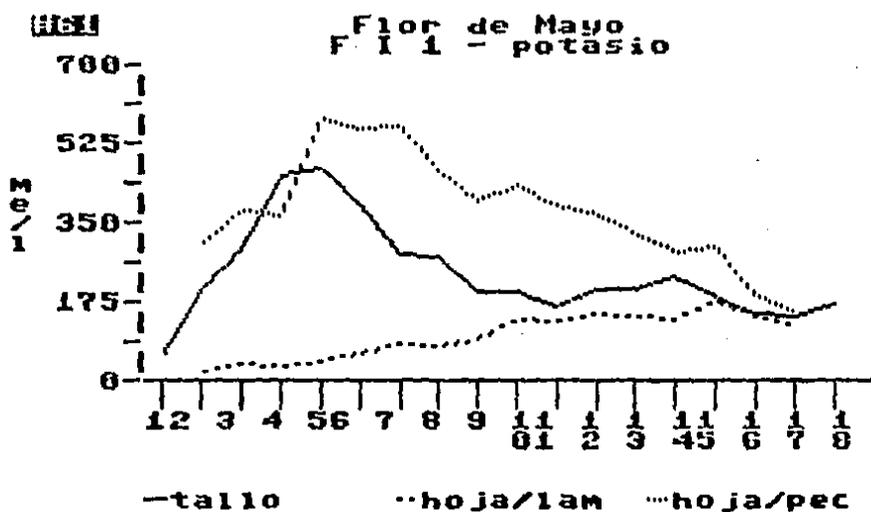


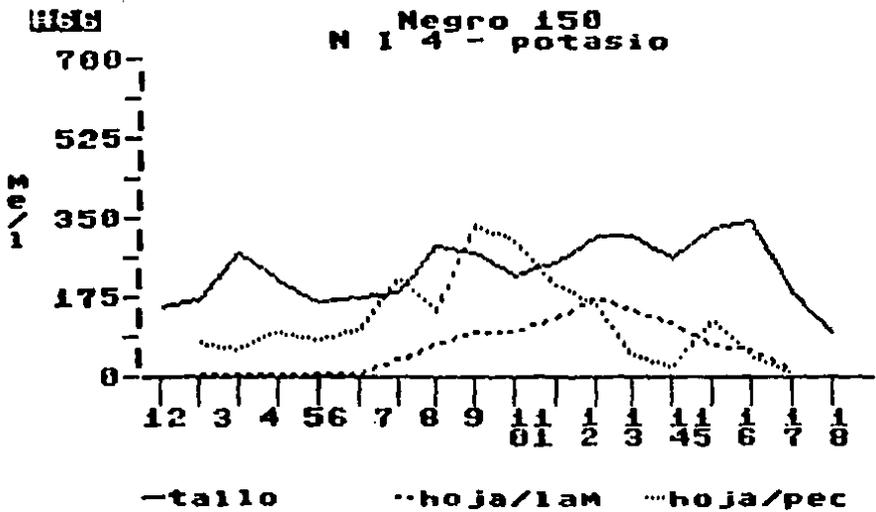
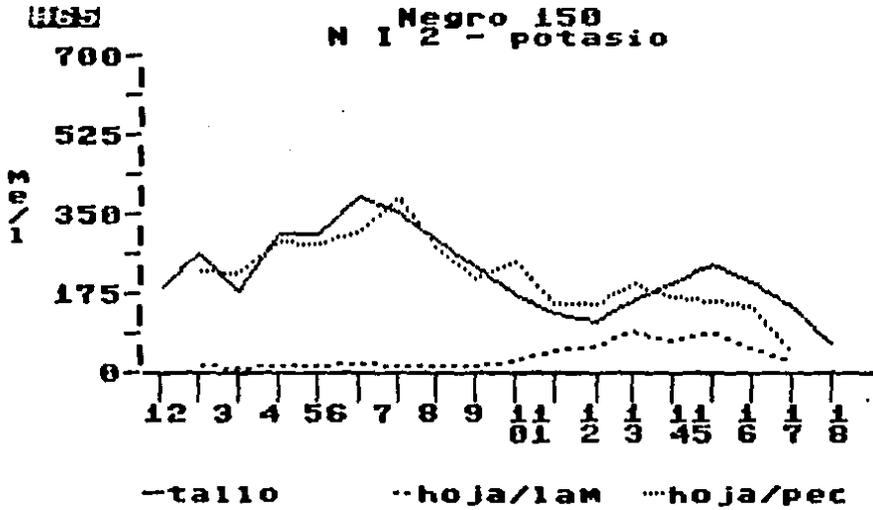
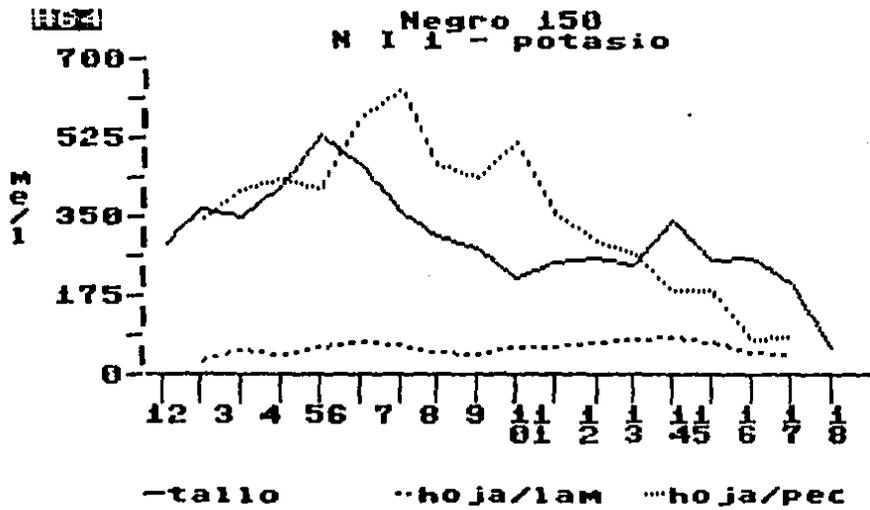


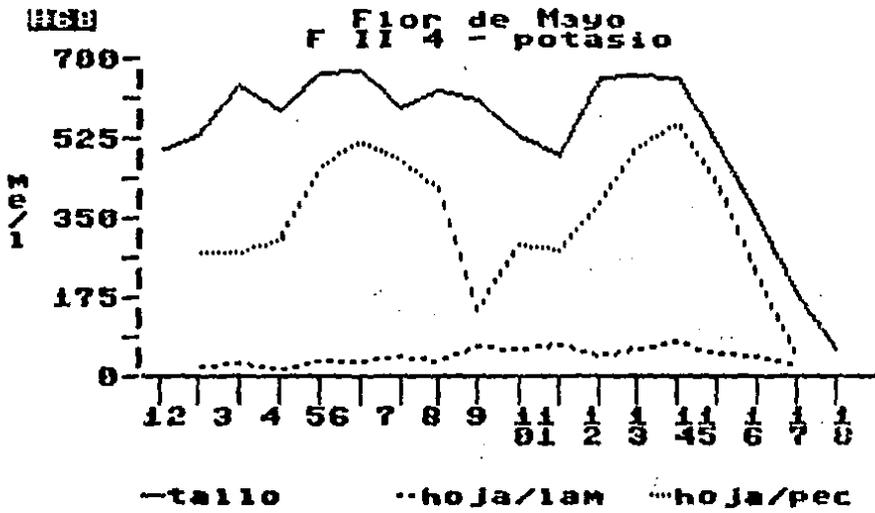
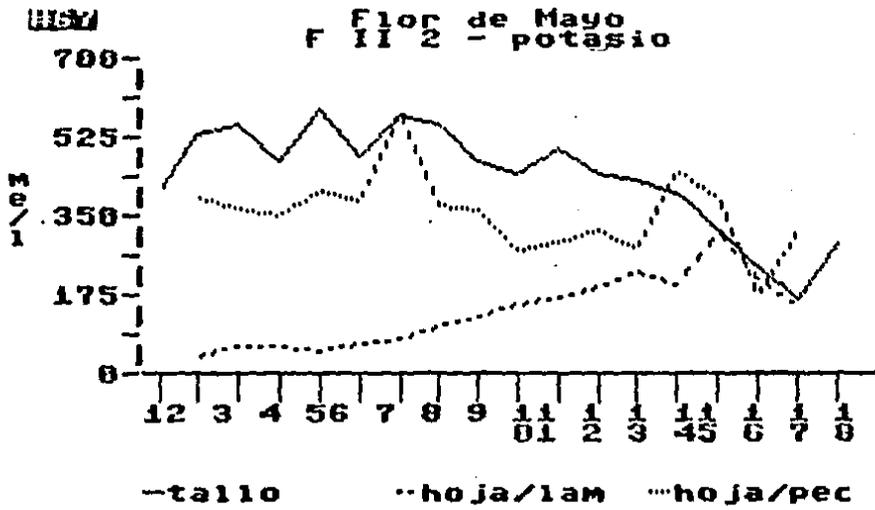


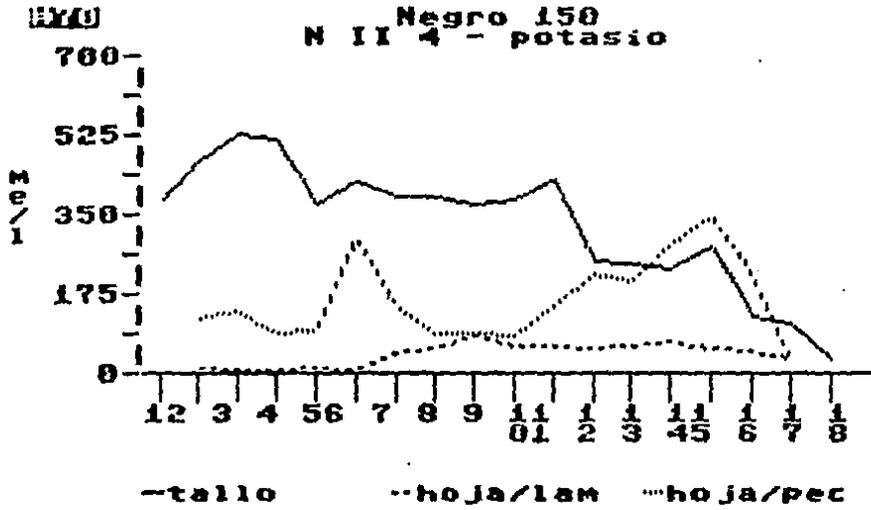
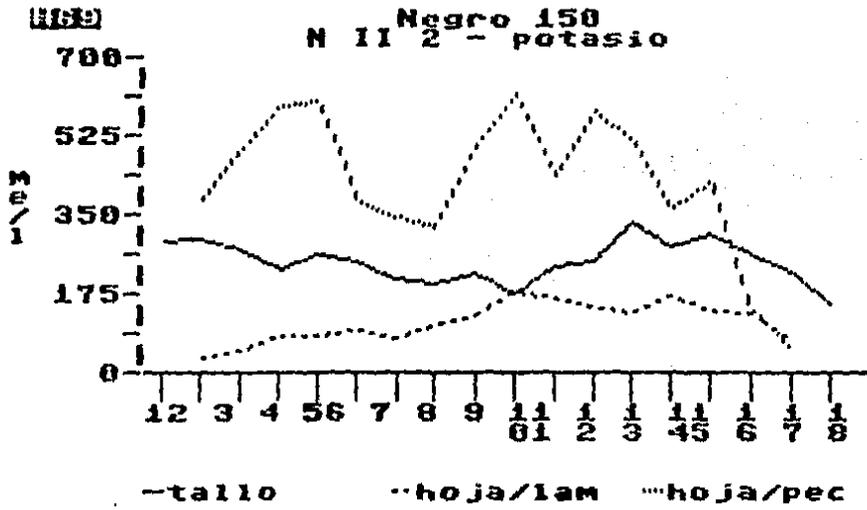


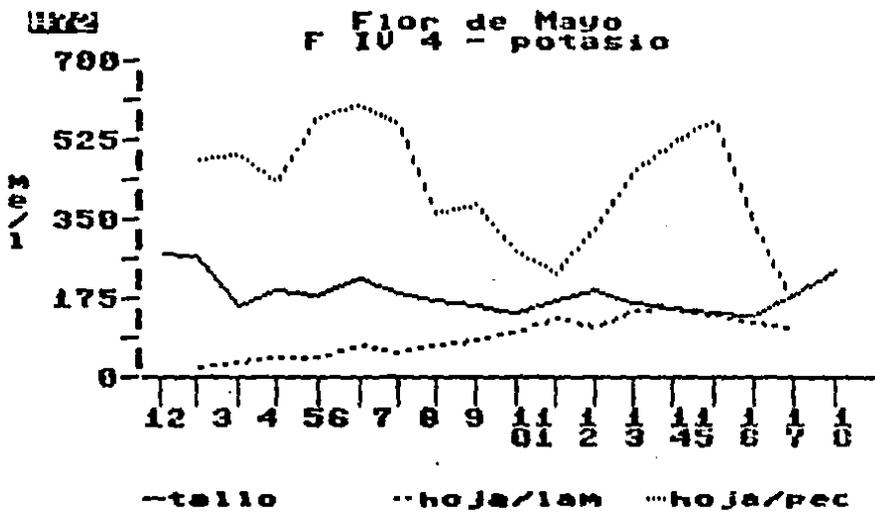
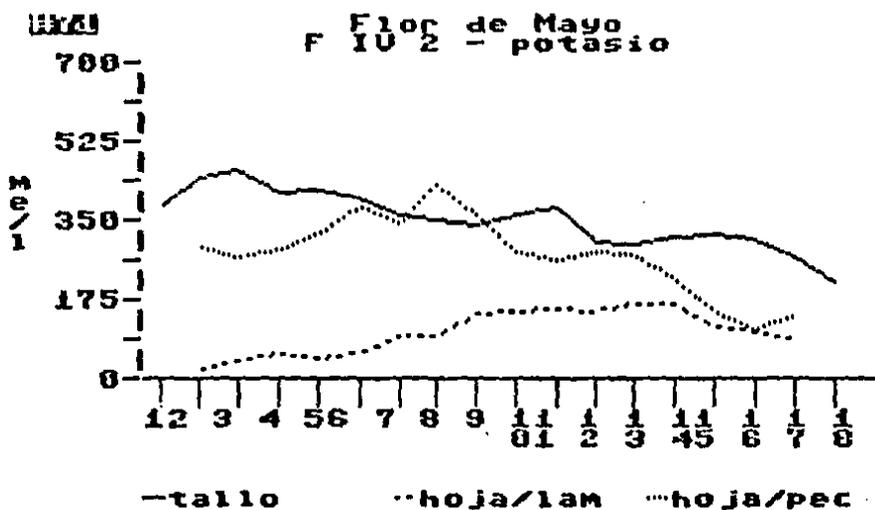


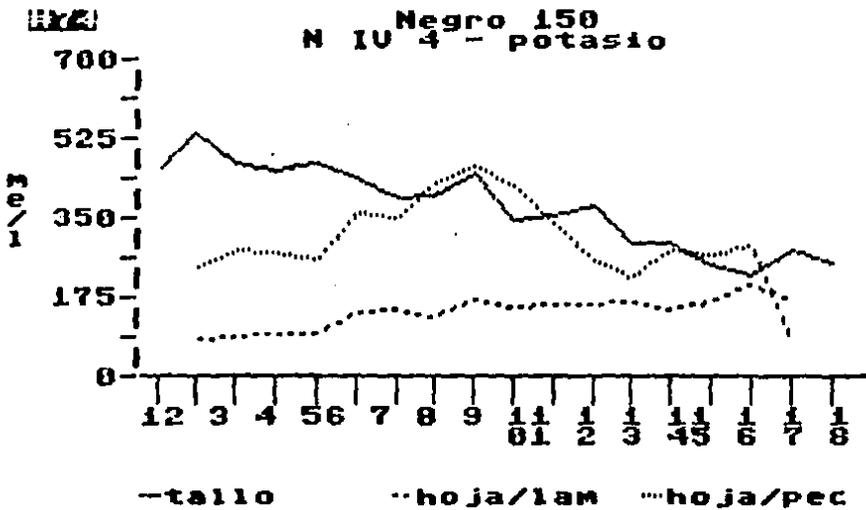
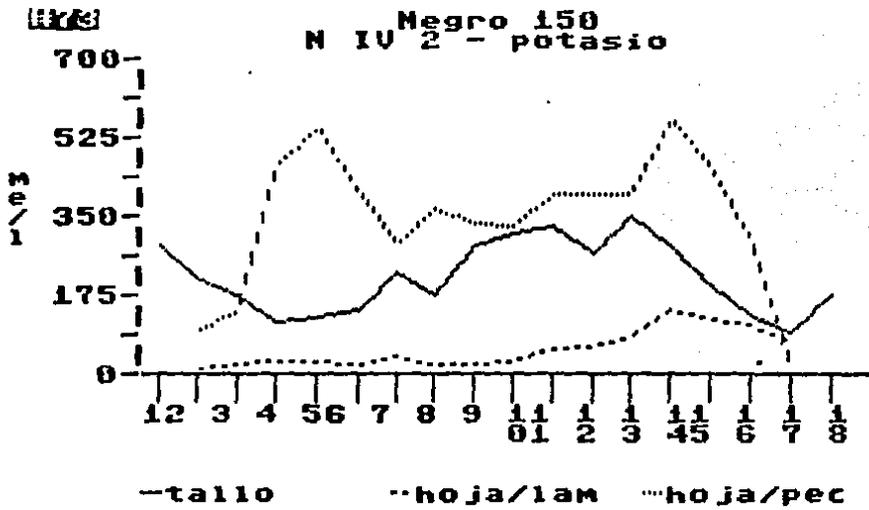


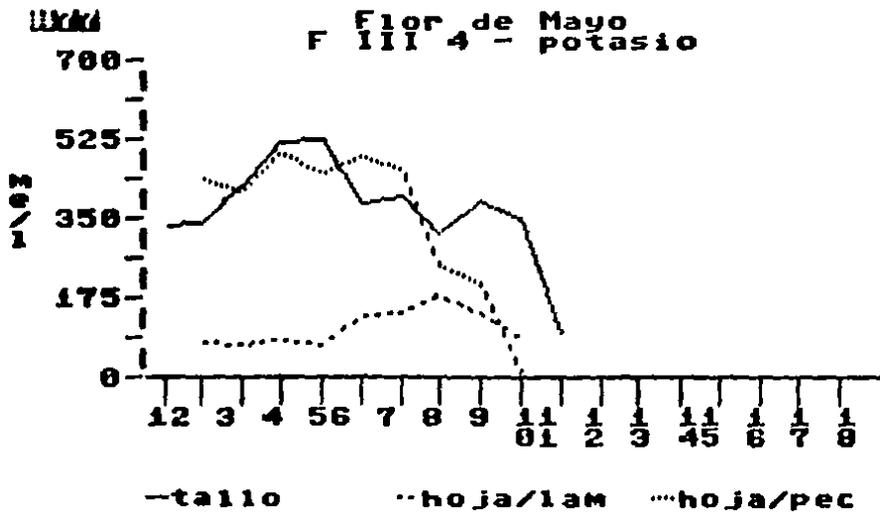
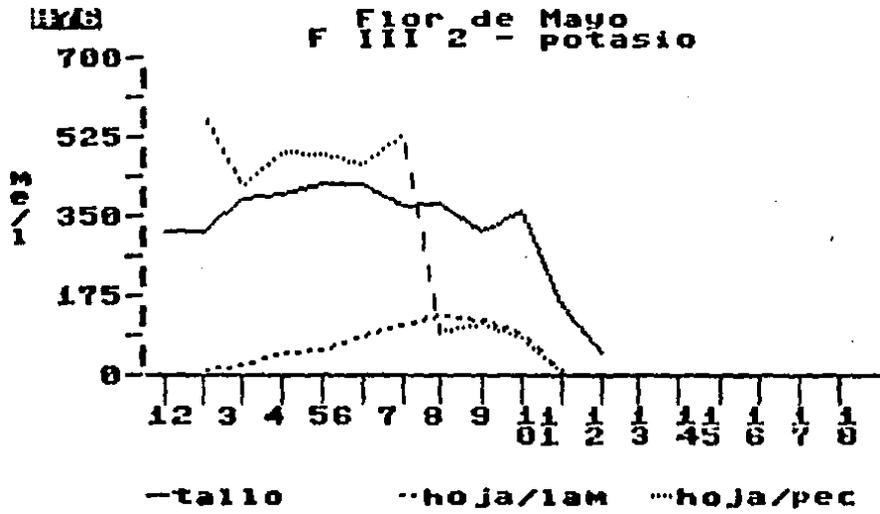
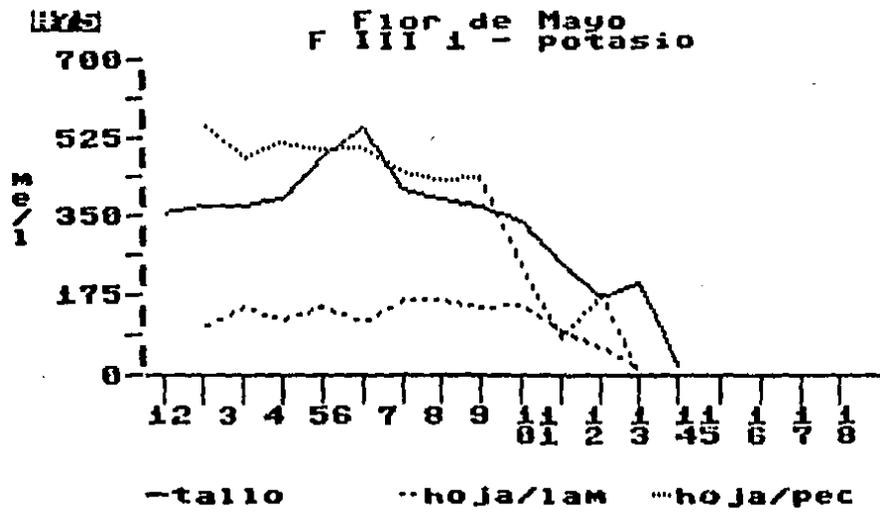


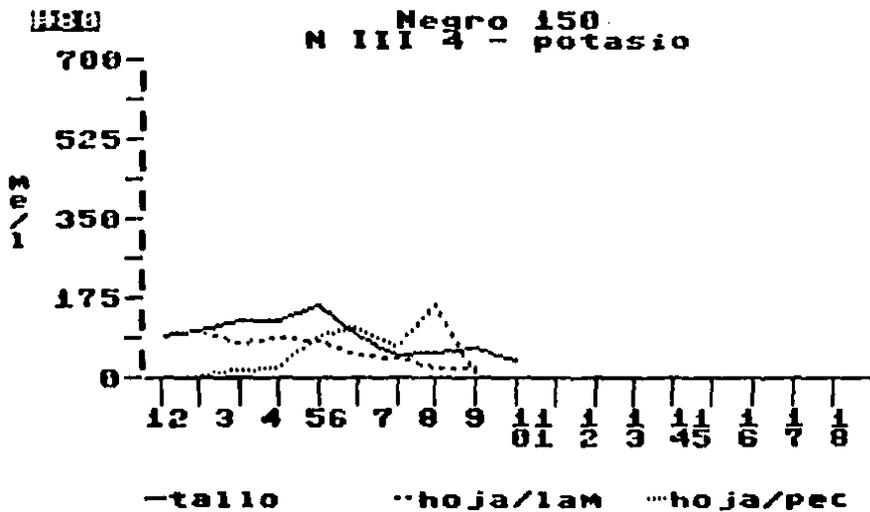
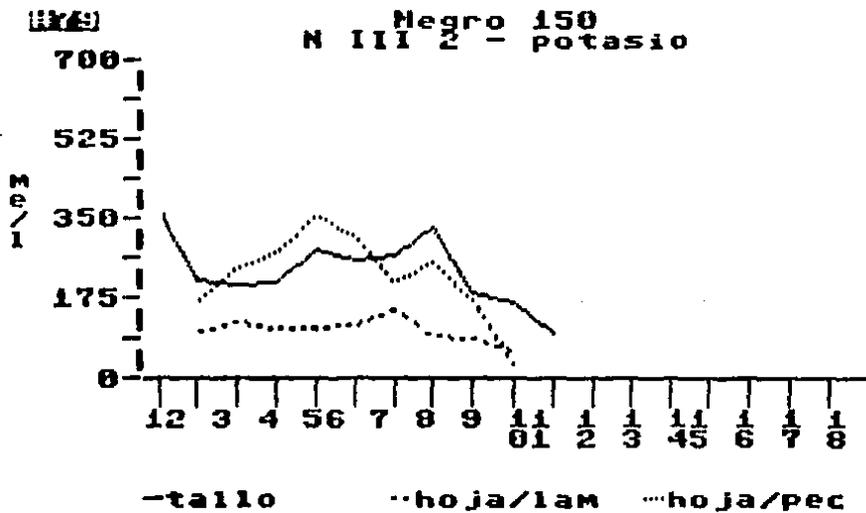
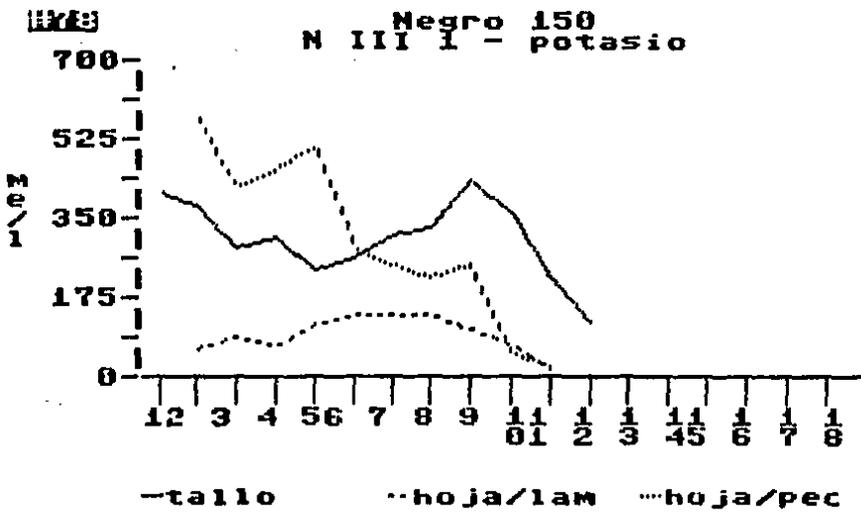


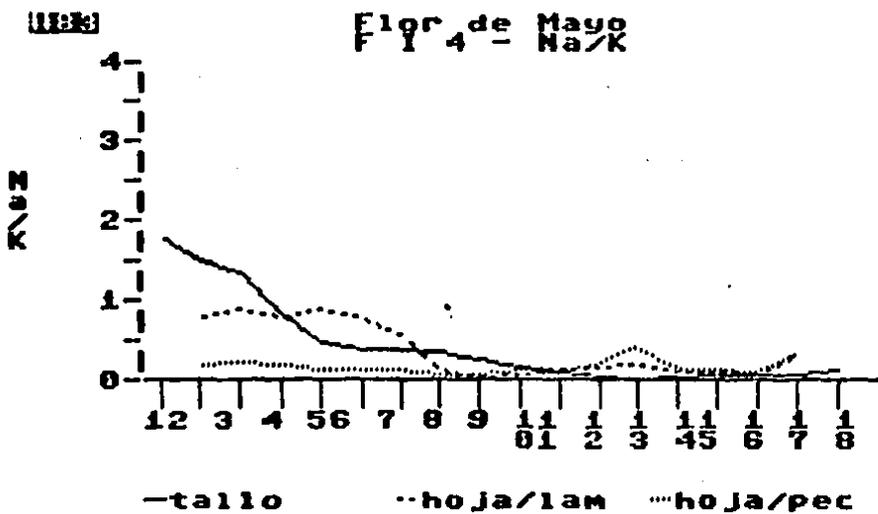
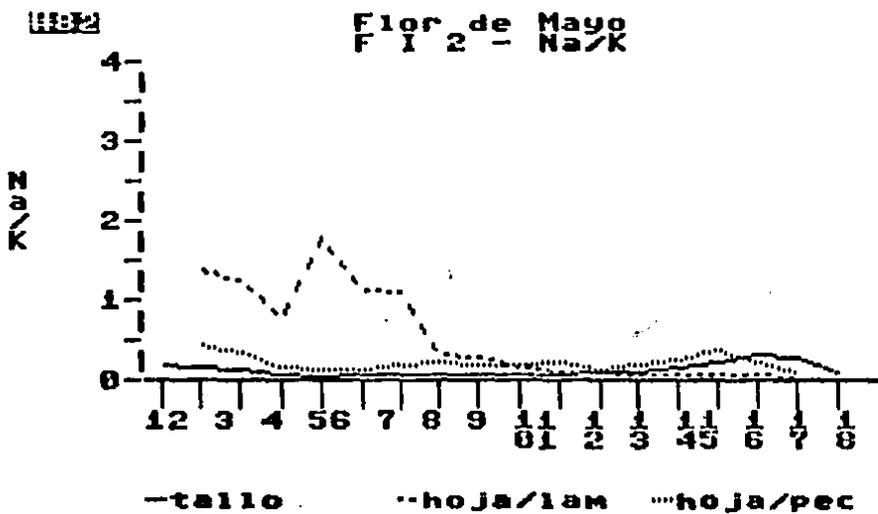
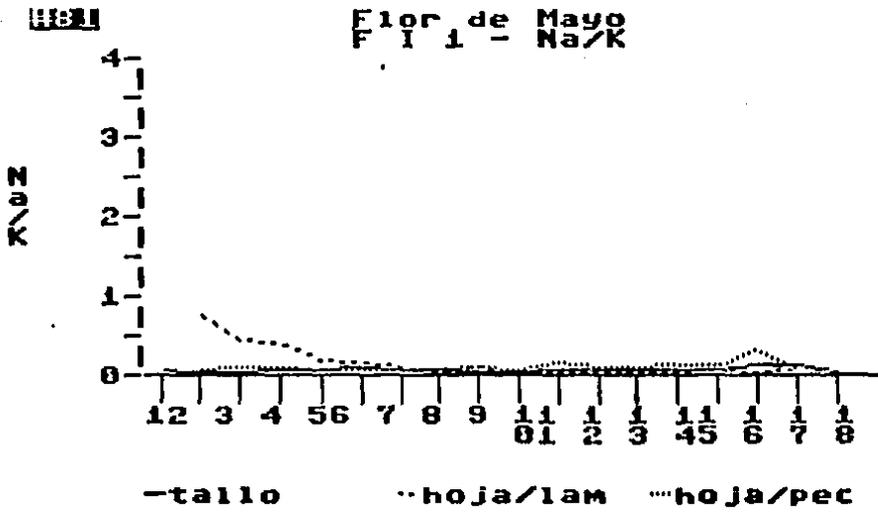


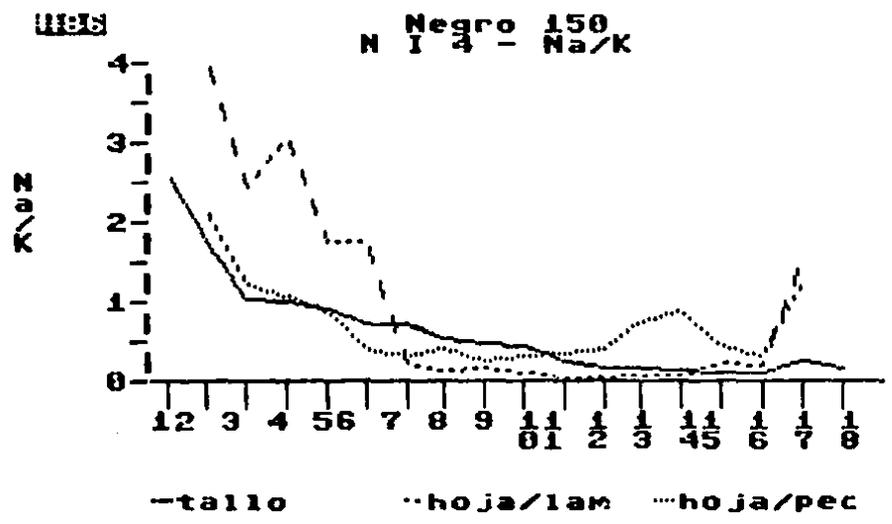
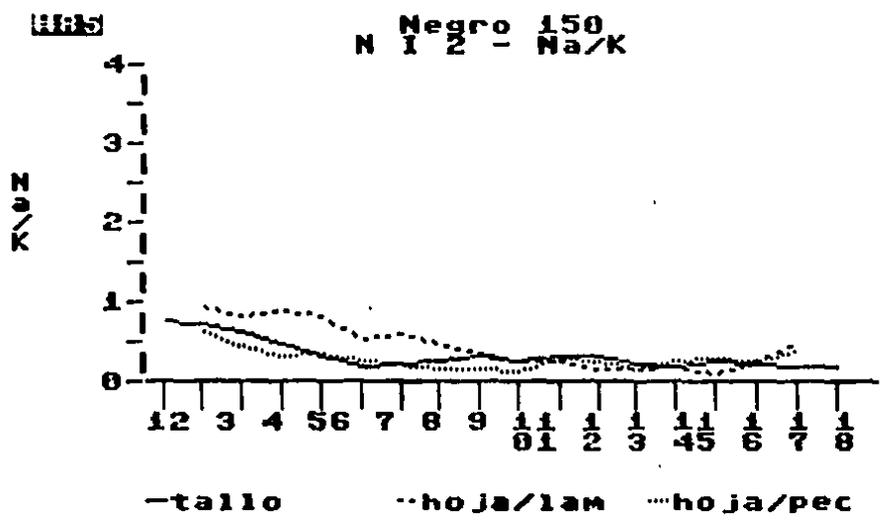
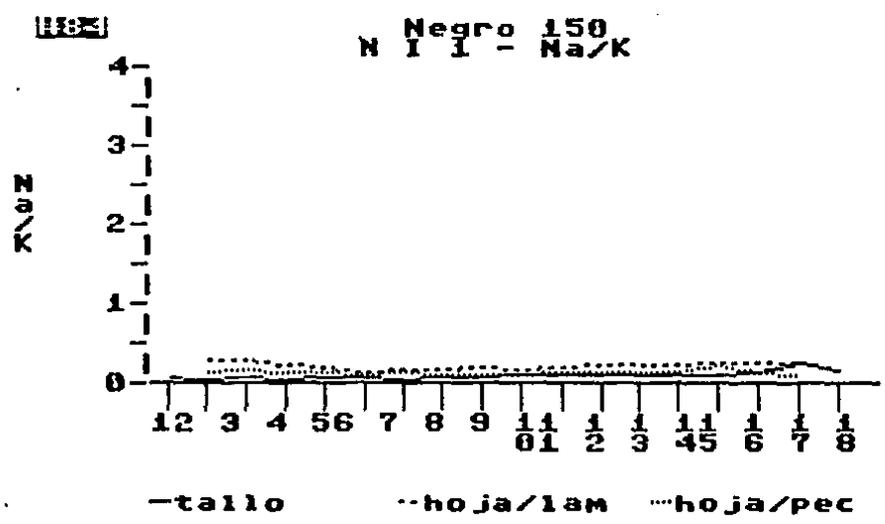




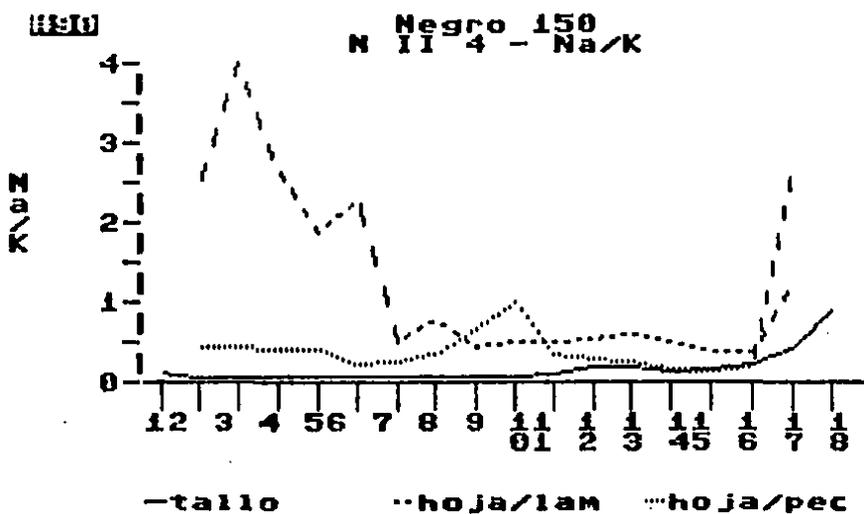
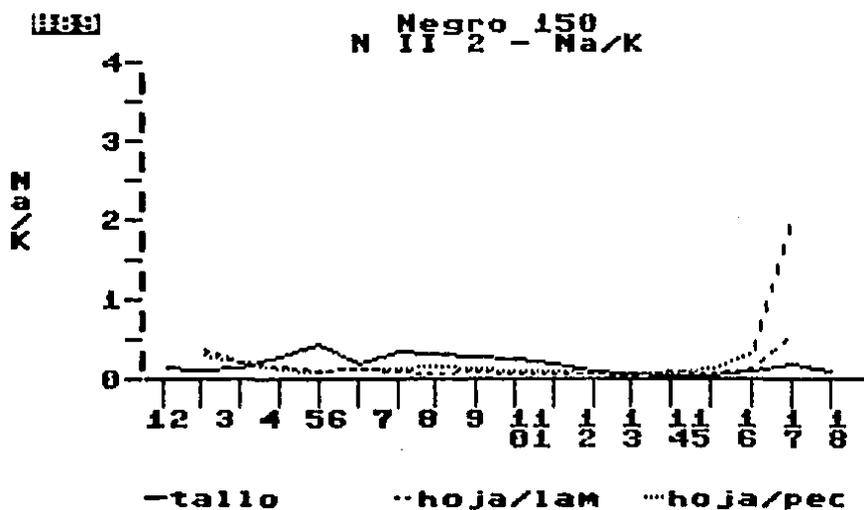


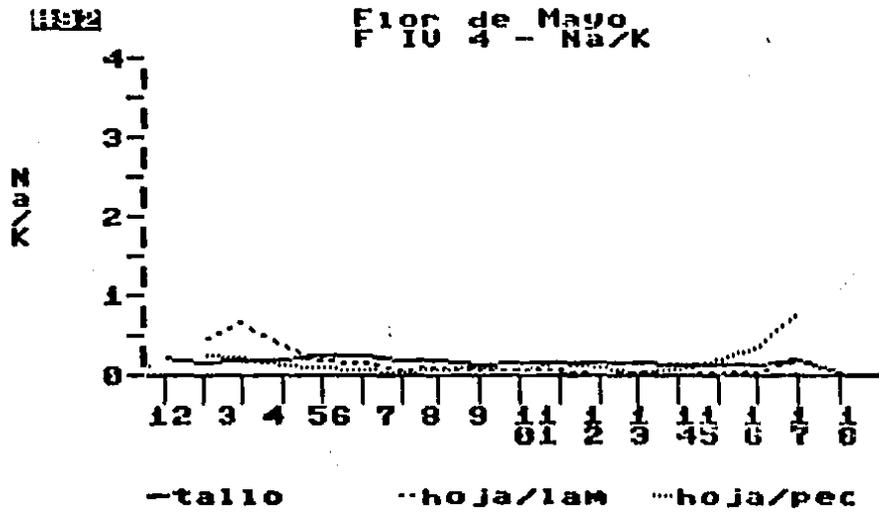
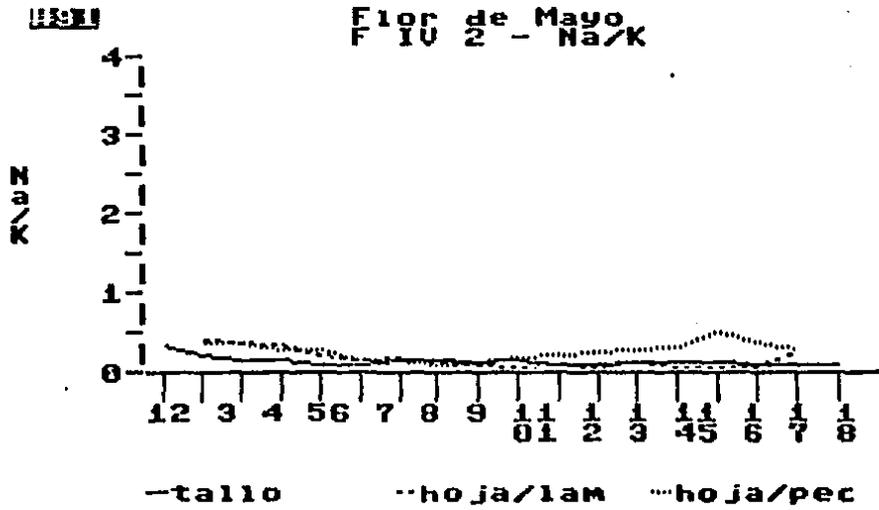


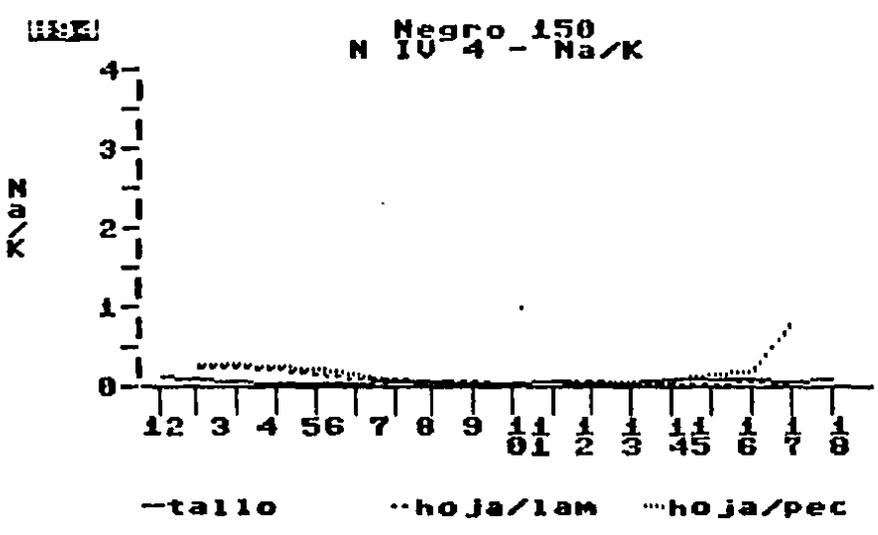
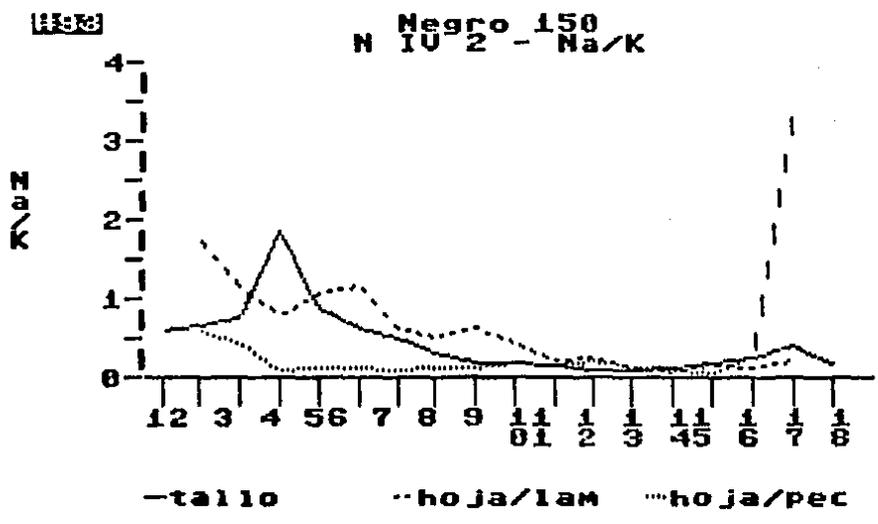


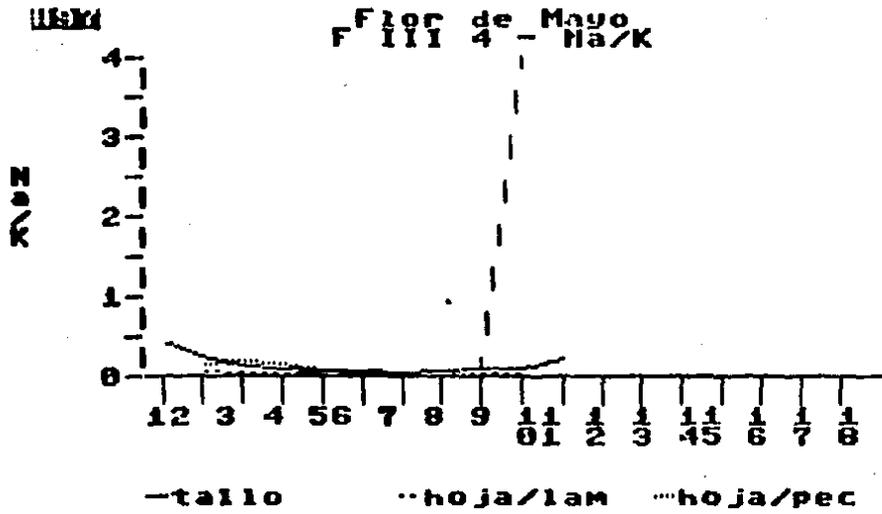
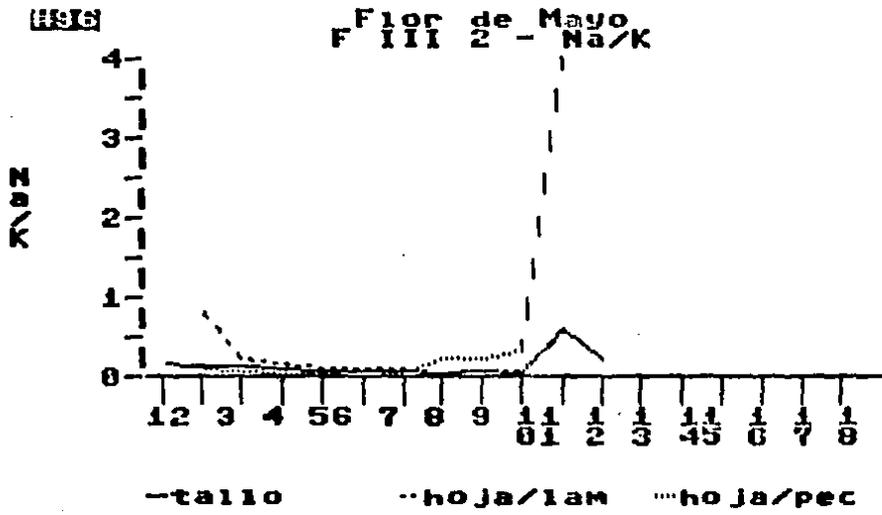
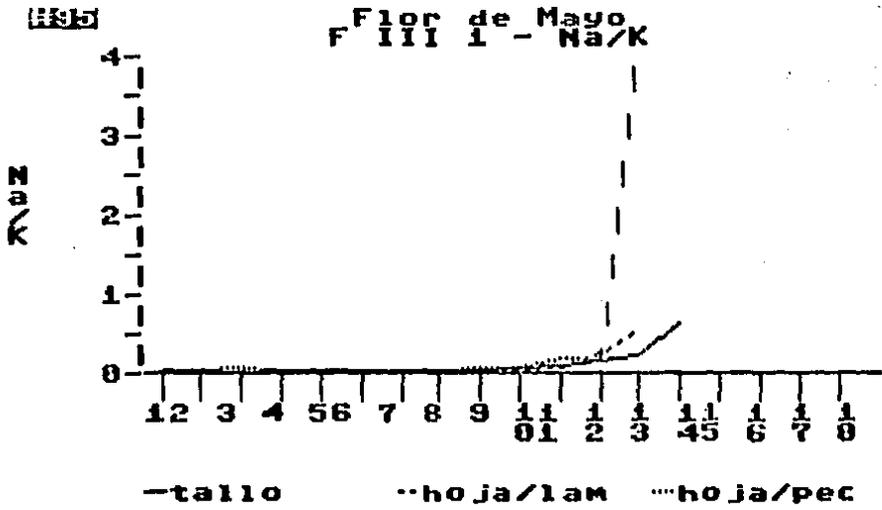


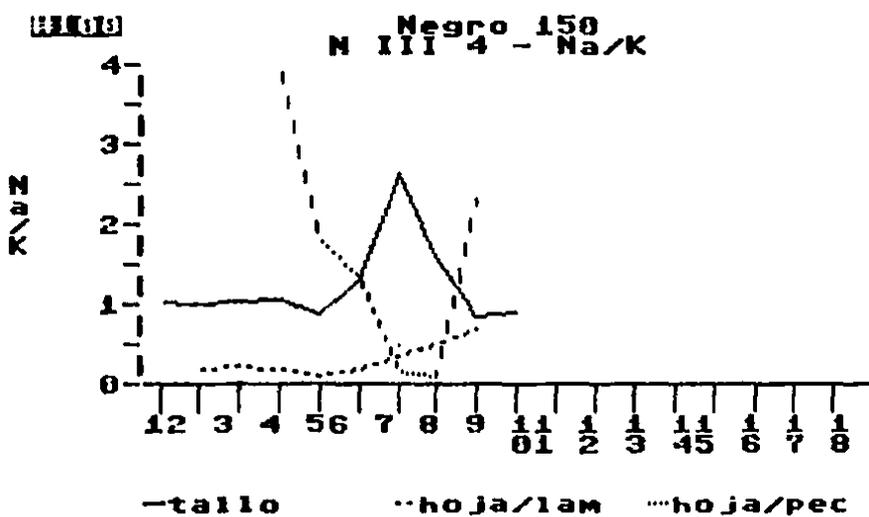
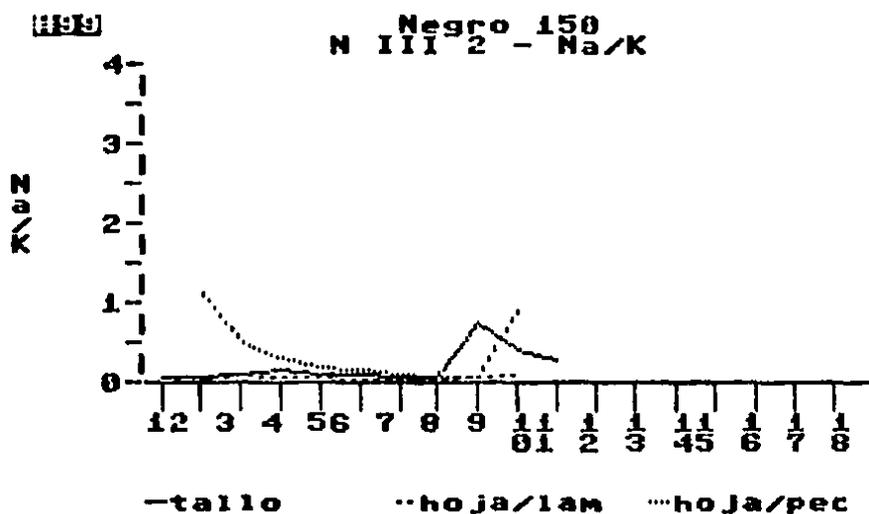
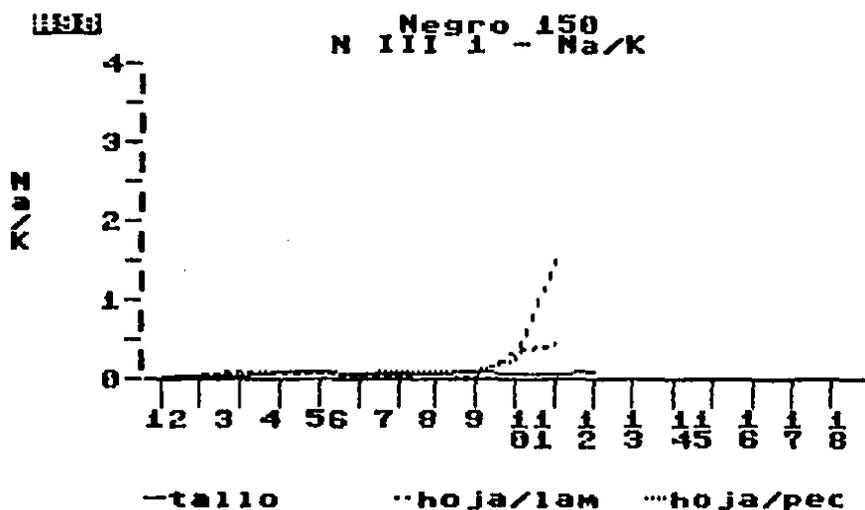






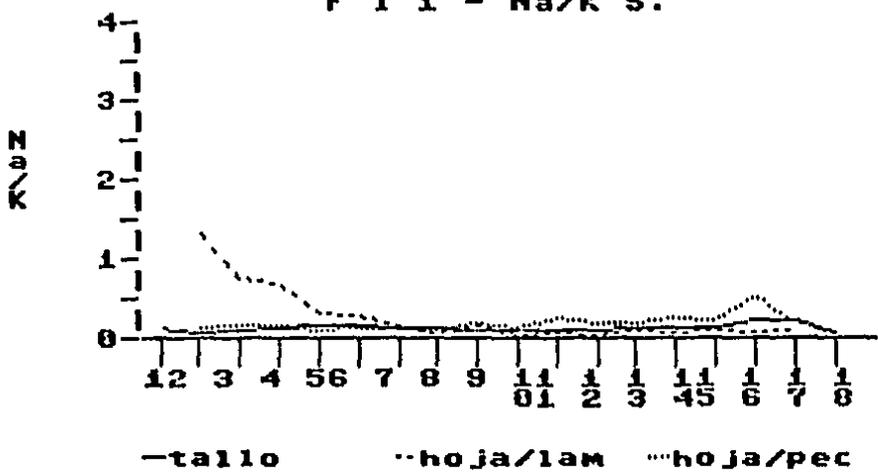






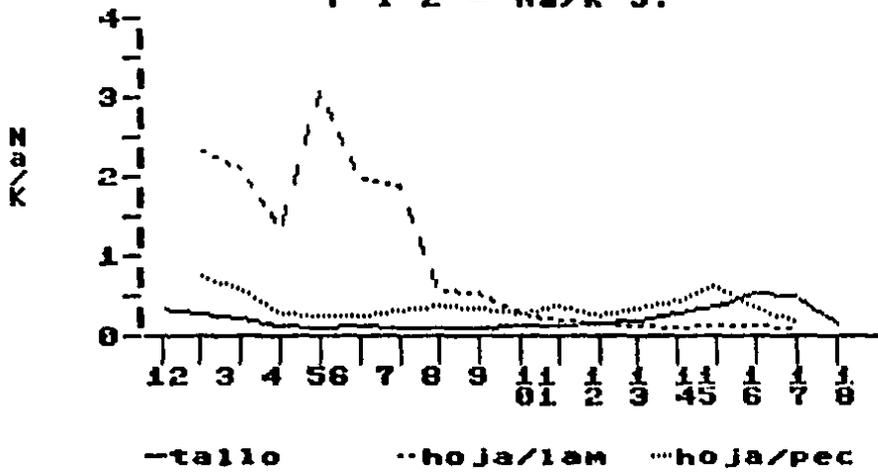
123456789101112131415161718

Flor de Mayo  
F 1 1 - Na/K S.



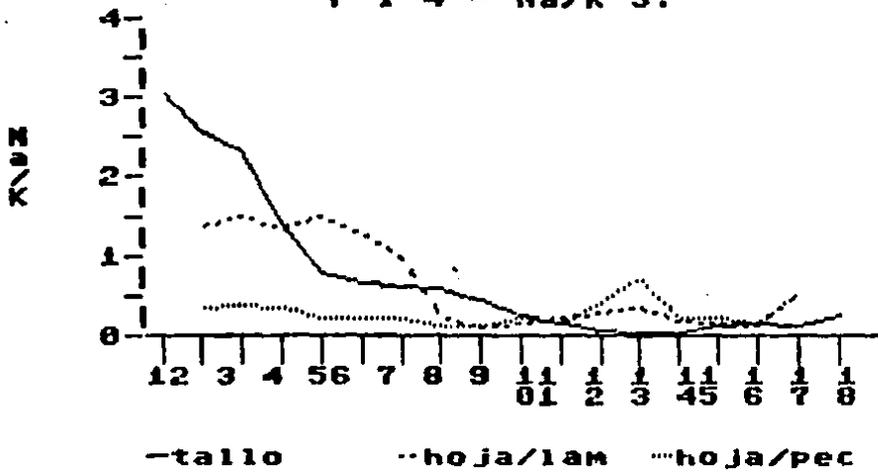
123456789101112131415161718

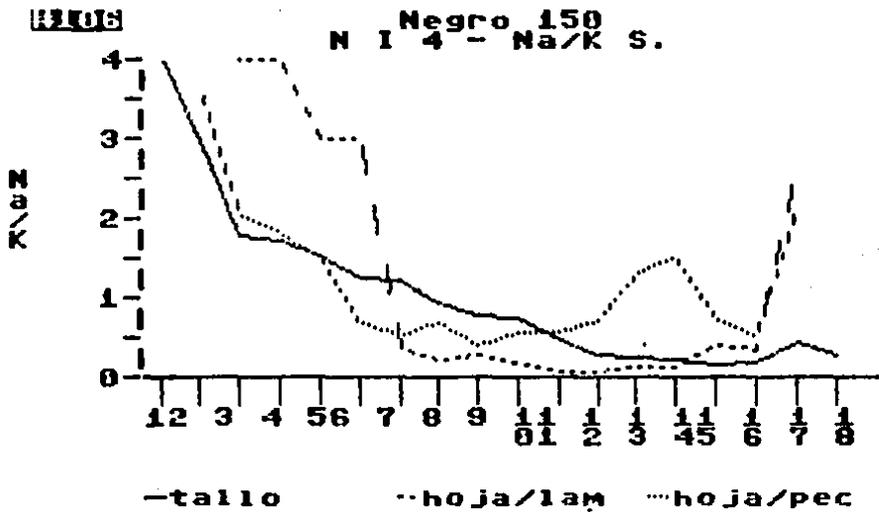
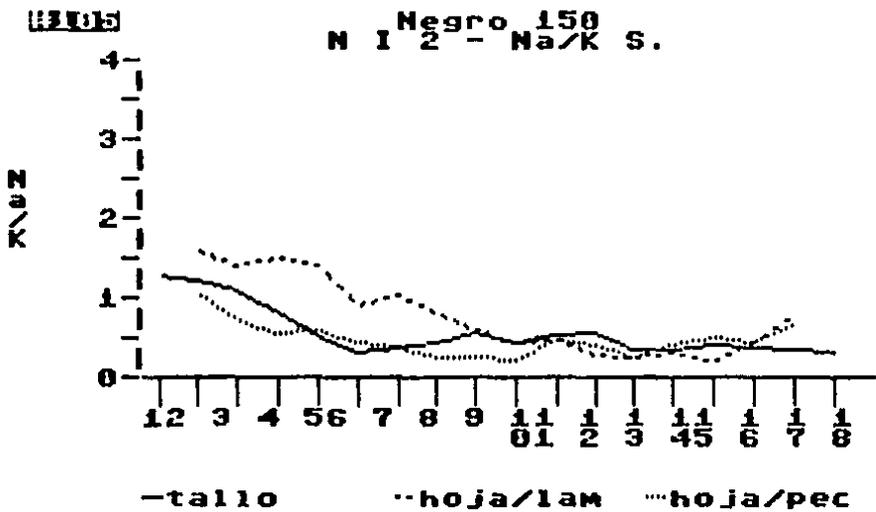
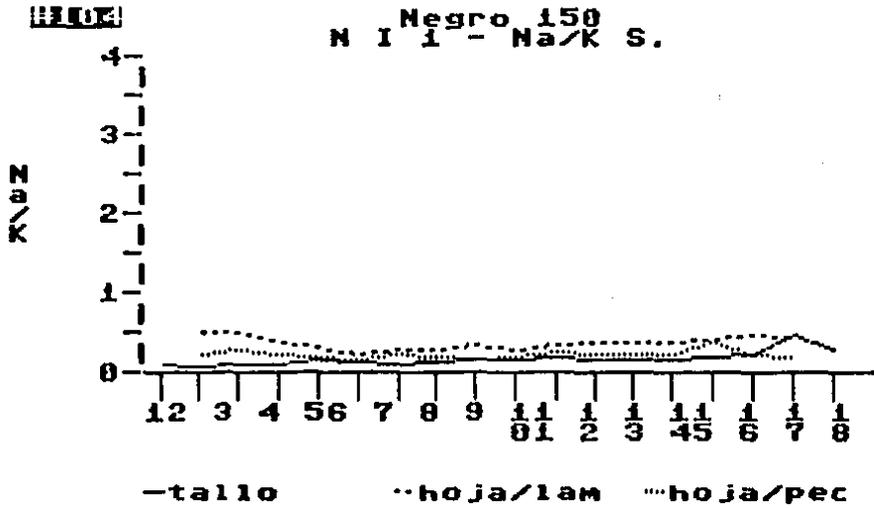
Flor de Mayo  
F 1 2 - Na/K S.



123456789101112131415161718

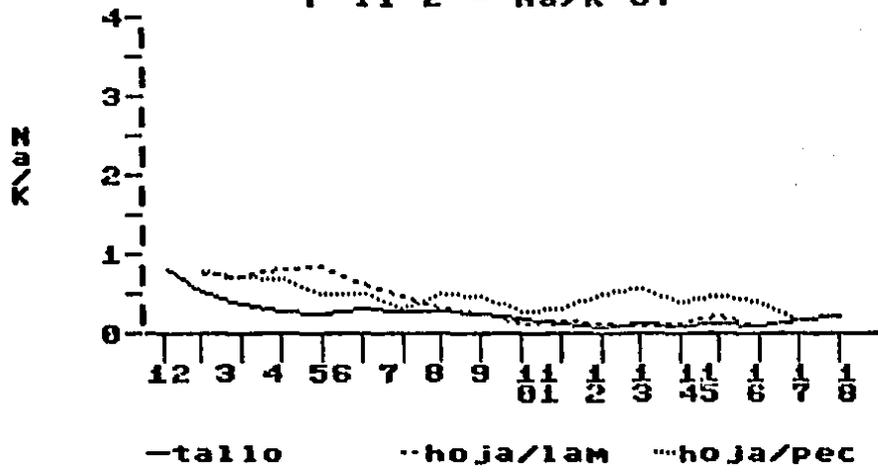
Flor de Mayo  
F 1 4 - Na/K S.





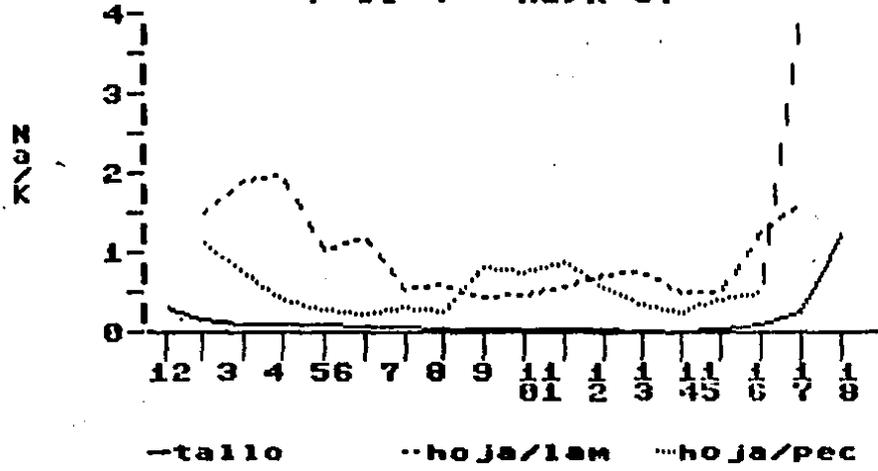
HE037

Fior de Mayo  
F II 2 - Na/K S.



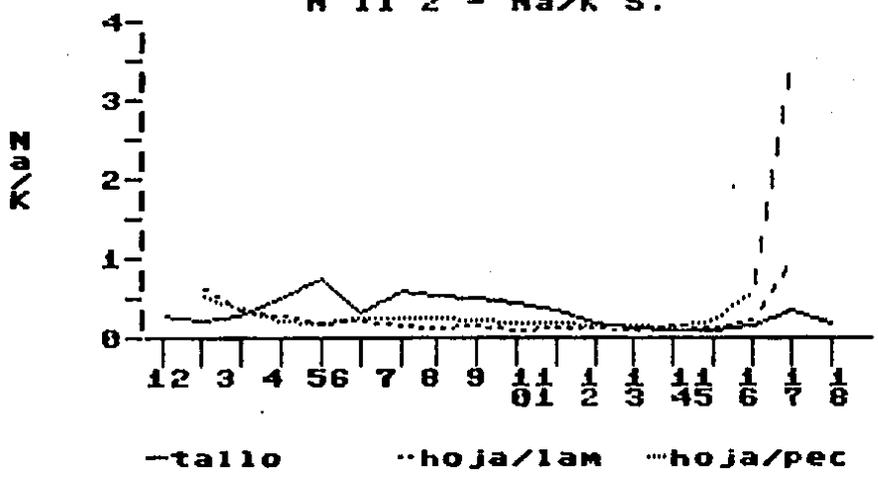
HE038

Fior de Mayo  
F II 4 - Na/K S.



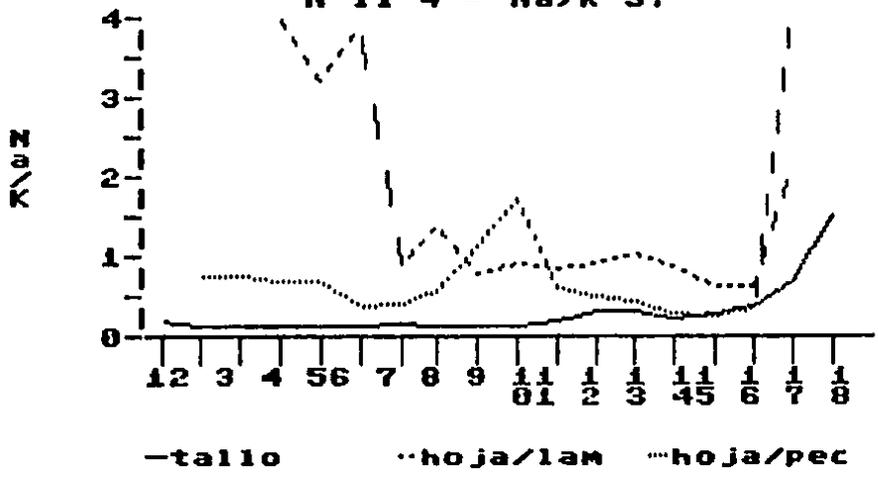
1309

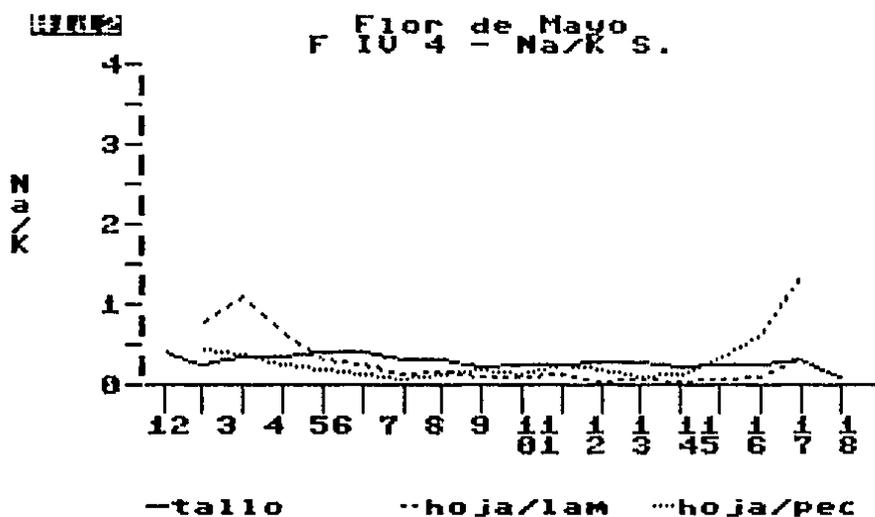
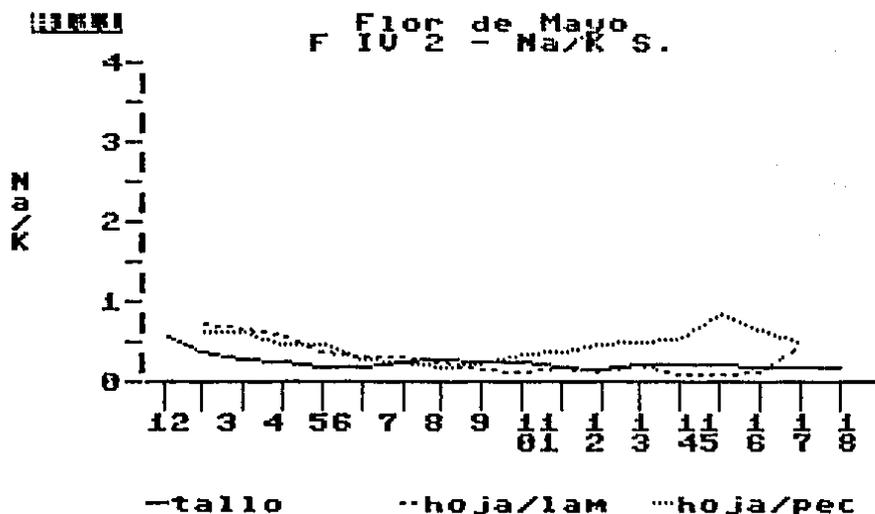
Negro 150  
N II 2 - Na/K S.

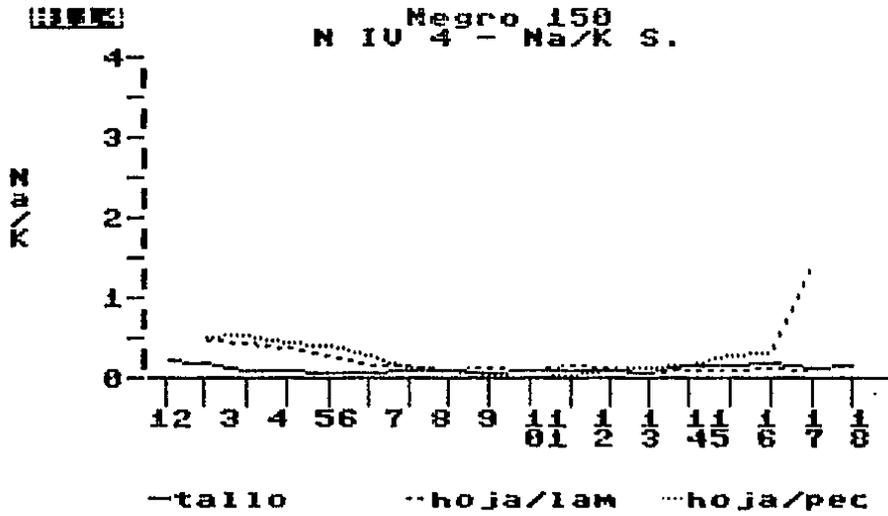
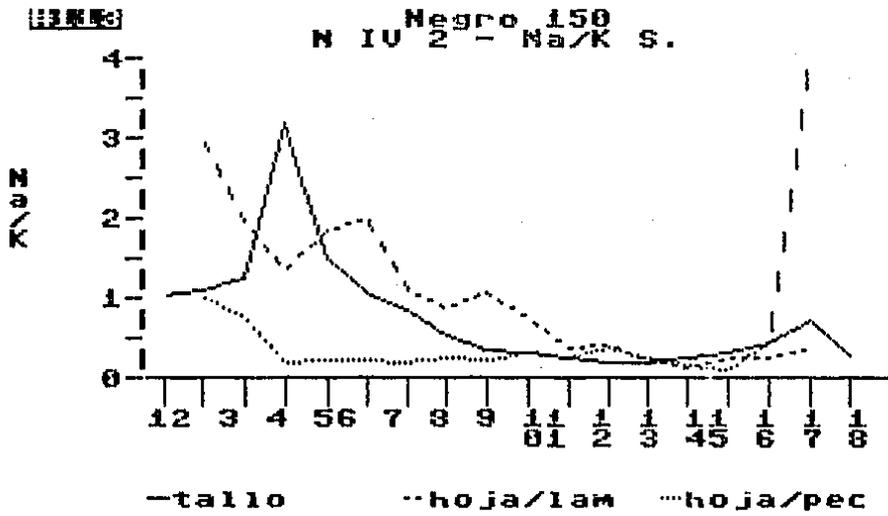


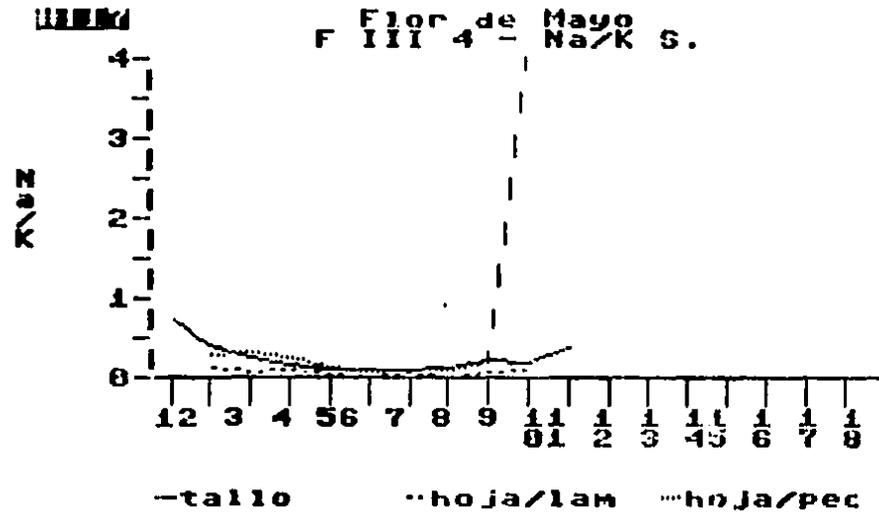
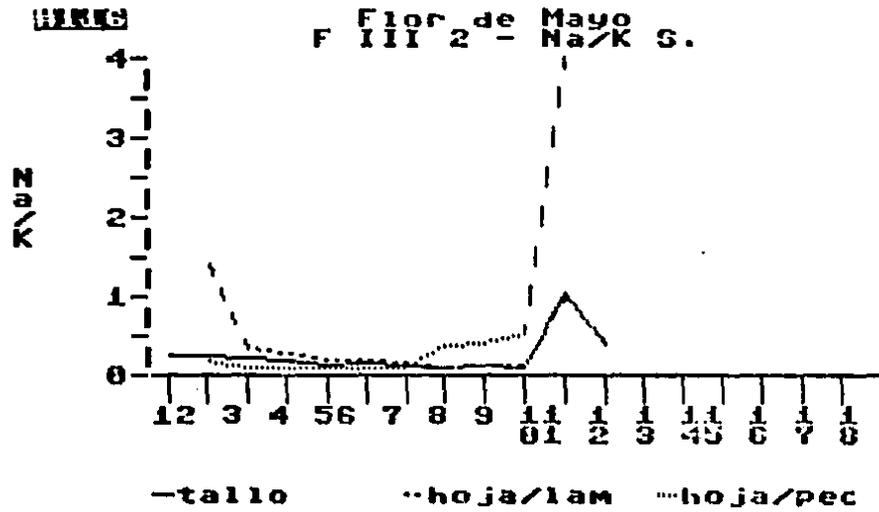
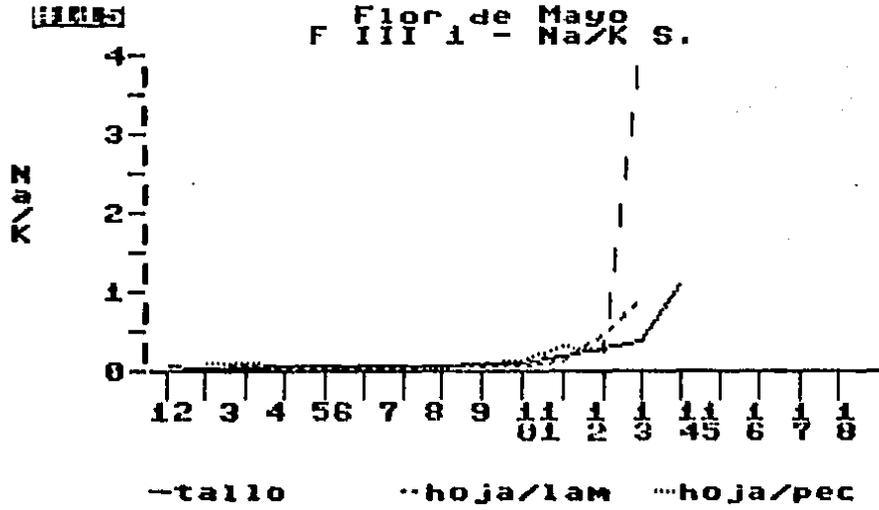
1310

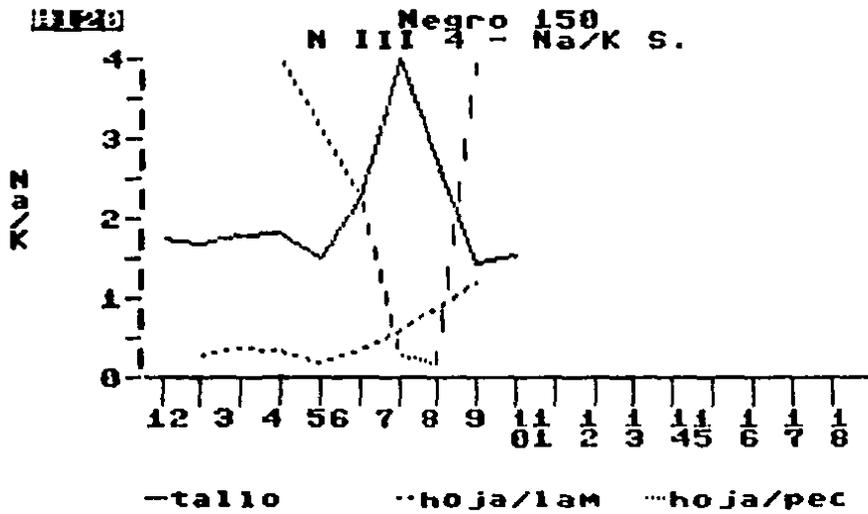
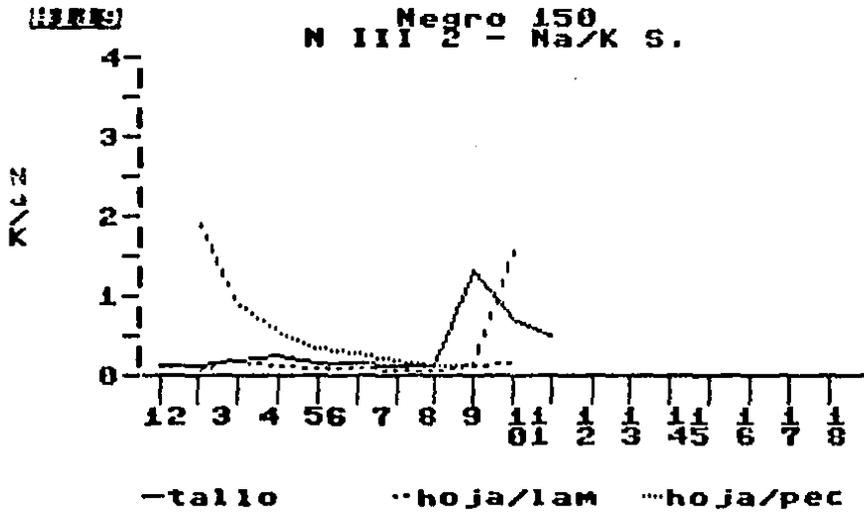
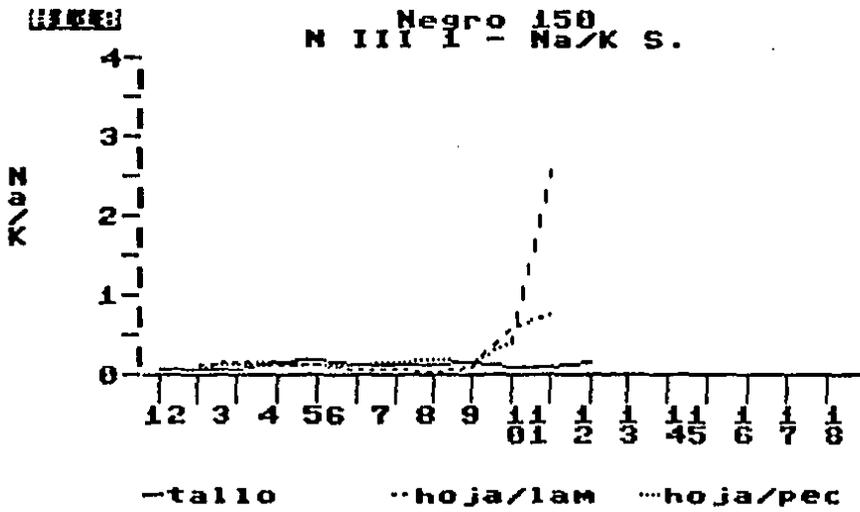
Negro 150  
N II 4 - Na/K S.











APENDICE III

ANALISIS ESTADISTICO

## ANALISIS ESTADISTICO

## A. COMPROBACION DE LA NORMALIDAD

Para proceder a realizar el análisis estadístico, se consideró primero necesario comprobar si los datos a evaluar constituían parte de una población normal, ya que el posterior análisis dependería de este aspecto. La comprobación de la normalidad se llevó a cabo mediante el uso de la prueba de bondad del ajuste de Kolmogorov-Smirnov (Ostle, 1983).

Dicha prueba consiste en determinar, para un conjunto de muestras ordenadas en varias clases, los valores de frecuencia relativa acumulada observada  $S_n(x)$ , donde  $S_n(x) = k/n$ , siendo  $k$  el número de observaciones menores o iguales a  $x$  y  $n$  el número total de observaciones, y los valores de frecuencia relativa acumulada esperada o teórica,  $F(x)$ , calculados a partir de la distribución teórica evaluada, en este caso la normal. Una vez obtenidos dichos valores, se comparan entre sí, y se determina la desviación máxima entre ambos,  $D = F(x) - S_n(x) \text{ máx}$ . Enseguida, esta desviación se compara con un valor obtenido de las tablas de Kolmogorov. Si la desviación máxima es mayor o igual a este valor, se rechaza la hipótesis de que los datos correspondan a la distribución teórica bajo consideración.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov se realizó para 5 grupos de datos tomados al azar. Habiendo en todos ellos resultado que el valor  $D_{\text{máx}}$  era menor que el valor de las tablas de Kolmogorov, se consideró que los datos sí correspondían a una distribución normal, y se procedió a realizar la siguiente etapa. En seguida se muestra el desarrollo de la prueba para uno de los grupos de datos estudiados.

## Prueba de Kolmogorov-Smirnov

1º Grupo de datos: 42 números, correspondientes a los resultados de sodio (ppm) del 8º entrenado, para todos los tratamientos (14 tratamientos x 3 repeticiones = 42).

## 2º Ordenamiento de los datos, de menor a mayor:

1093.04	2670.19	6398.92
1192.91	2673.61	7006.44
1412.23	2775.27	7484.34
1425.49	2795.01	7717.31
1418.19	2996.71	7860.05
1571.87	3230.94	8534.64
1672.54	3290.35	8704.90
1792.92	3668.60	9313.20
2077.88	4418.71	9332.18
2083.42	5256.13	9534.78
2340.46	5694.78	9688.83
2487.82	5785.88	11600.69
2757.27	6018.85	12045.45
2657.11	6301.71	13972.21

## 3º Distribución de frecuencias:

C1	1000 a 1999.99	8	1500
C2	2000 a 2999.99	11	2500
C3	3000 a 3999.99	3	3500
C4	4000 a 4999.99	1	4500
C5	5000 a 5999.99	3	5500
C6	6000 a 6999.99	3	6500
C7	7000 a 7999.99	4	7500
C8	8000 a 8999.99	2	8500
C9	9000 a 9999.99	4	9500
C10	10000 a 10999.99	0	10500
C11	11000 a 11999.99	1	11500
C12	12000 a 12999.99	1	12500
C13	13000 a 13999.99	1	13500

4º Obtención de  $F(x)$  para cada clase.

Primero deben obtenerse los valores de las variantes estandarizadas normales ( $Z$ ) para cada clase. Esto significa ajustar los datos a una distri-

bución normal teórica donde  $\mu = 0$  y  $\delta = 1$ . Esto se consigue de la siguiente forma:

$$\mu = 5063.18$$

$$\delta = 3445.219$$

$$Z = \frac{y - \mu}{\delta}$$

Para la clase C1,  $Z_1 = \frac{1500 - 5063.18}{3445.219} = -1.034$

De manera similar,

$$Z_2 = -0.743$$

$$Z_8 = 0.997$$

$$Z_3 = -0.453$$

$$Z_9 = 1.287$$

$$Z_4 = -0.163$$

$$Z_{10} = 1.578$$

$$Z_5 = -0.126$$

$$Z_{11} = 1.868$$

$$Z_6 = 0.417$$

$$Z_{12} = 2.158$$

$$Z_7 = 0.707$$

$$Z_{13} = 2.448$$

5ª Enseguida, se procede a obtener los valores  $F(x)$  correspondientes a cada valor  $Z$ , en una tabla de distribución normal acumulativa.

6ª Se obtienen los valores  $S_n(x) = k/n$ , y la diferencia  $S_n(x) - F(x)$ .

7ª Todos los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Clase	frecuencia	frecuencia observada acumulada	$S_n(x)$	$F(x)$	$S_n(x) - F(x)$
C1	8	8	0.190	0.151	0.039
C2	11	19	0.452	0.229	0.223
C3	3	22	0.523	0.326	0.197
C4	1	23	0.547	0.436	0.111
C5	3	26	0.619	0.547	0.072
C6	3	29	0.690	0.659	0.031
C7	4	33	0.785	0.758	0.027
C8	2	35	0.833	0.838	0.005
C9	4	39	0.928	0.941	0.013
C11	1	40	0.952	0.968	0.016
C12	1	41	0.976	0.984	0.008
C13	1	42	1.000	0.992	0.008

8º Para  $n = 42$ , el valor de Kolmogorov para una significancia de 1% es  $1.63 / \sqrt{n} = 0.251$ . De la tabla anterior se observa que el valor  $D_{\text{máx}}$  es 0.223.

9º Puesto que  $0.223 < 0.251$ , la hipótesis no se rechaza, y se puede considerar que el grupo de datos evaluado sí corresponde a una distribución normal.

## B. ANALISIS DE VARIANZA

### a) Variables

La siguiente etapa consistió en efectuar una serie de análisis de varianza de los parámetros estudiados. En primer lugar, se realizaron análisis de varianza de entrenudos, pecíolos y láminas de las hojas para cada una de las variables determinadas; esto se realizó por niveles, o sea, para cada uno de los 18 grupos de datos de entrenudos, y para los 16 de pecíolos y láminas foliares, con lo cual se efectuaron un total de 300 análisis de varianza.

El objeto de estos análisis fué el determinar si existían diferencias significativas en general entre los entrenudos, pecíolos y hojas de los diferentes tratamientos. Un ejemplo de este análisis se muestra en el siguiente cuadro, correspondiente al análisis de varianza de el primer entrenudo para la variable sodio (ppm):

F. V.	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F t. (1%)
Total	41	3786909420			
Bloques	2	4659548	2329744	0.18	5.53
Tratamientos	13	3442570580	264813122	20.27	2.90
Error	26	339679288	13064588		

Los resultados de los 300 análisis de varianza se resumen en los cuadros siguientes.

## Resultados de los análisis de varianza (variables)

Entrenado	ppm			me/l		
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>
1	**	**	**	**	**	**
2	**	**	**	**	**	**
3	**	**	**	**	**	**
4	**	**	**	**	**	**
5	**	**	**	**	**	**
6	**	**	**	**	**	**
7	**	**	**	**	**	**
8	**	**	**	**	**	**
9	**	**	**	**	**	**
10	**	**	**	**	**	**
11	**	**	**	**	**	**
12	**	**	**	**	**	**
13	**	**	**	**	**	**
14	*	**	**	*	**	**
15	**	**	**	**	**	**
16	*	**	**	*	**	**
17	**	**	**	**	**	**
18	**	**	**	**	**	**

Pecfólo	Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>		Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
2	**	**	**	**	**	**
3	**	**	**	**	**	**
4	**	**	**	**	**	**
5	**	**	**	**	**	**
6	**	**	**	*	**	**
7	**	**	**	**	**	**
8	**	**	**	**	**	**
9	**	**	**	**	**	**
10	**	**	**	**	**	**
11	**	**	**	**	**	**
12	**	**	**	**	**	**
13	**	**	**	**	**	**
14	**	**	**	**	**	**
15	**	**	**	**	**	**
16	**	**	**	**	**	**
17	**	**	**	**	**	**

Hoja	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>
2	*	**	**	*	**	**
3	*	**	**	*	**	**
4	*	**	**	*	**	**
5	**	**	**	**	**	**
6	**	**	**	**	**	**
7	**	**	**	**	**	**
8	**	**	**	**	**	**
9	**	**	**	**	**	**
10	**	**	**	**	**	**
11	***	**	**	*	**	**
12	**	**	**	**	**	**
13	**	**	**	**	**	**
14	*	**	**	*	**	**
15	**	**	**	**	**	**
16	*	**	**	*	**	**
17	**	**	**	**	**	**

\*\* = significativo al 1%  
 \* = significativo al 5%

#### b) Interacciones

Los análisis de varianza anteriores mostraron diferencias altamente significativas entre la gran mayoría de los entrenudos, pecíolos y láminas foliares. Sin embargo, tales análisis fueron de carácter general, y no revelan si las diferencias observadas pueden atribuirse a las repeticiones, a los tratamientos o a las variedades, y tampoco muestran si existen diferencias entre los distintos entrenudos, pecíolos o láminas foliares de una misma planta. Para obtener ésto se efectuaron otros análisis de varianza en los que se requirió de la determinación, por una parte, de las sumas de cuadrados y cuadros medios de las repeticiones y entrenudos (y las correspondientes hojas y pecíolos) y del error asociado a ellos (denominado Error A), y por otra parte la determinación de las sumas de cuadrados y cuadros medios correspondientes a las dos variedades de frijol utilizadas, a los tratamientos, y a las interacciones entre estas variables, así como al error asociado a ellas (denominado Error B). Un ejemplo de estos análisis de varianza se muestra en el siguiente cuadro, correspondiente a la variable sodio (ppm) para los tallos (entrenudos):

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F obs.	F t. (1%)
Total	755	1.6497924E+10			
Repeticiones	2	2905944	1452972	0.68	5.29
Entrenudos	17	3.0290606E+09	178180035	83.48	2.56
Error A	34	72567152	2134328		
Variedades	1	415349872	415349872	144.29	6.70
Tratamientos	6	4.8156255E+09	802604258	278.82	2.84
Variedades x Tratamientos	6	627582688	104597115	36.33	2.84
Variedades x Entrenudos	17	126696072	7254710	2.58	2.03
Tratamientos x Entrenudos	102	5.02621033E+09	49276571	17.11	1.42
Variedades x Tratamientos x Entrenudos	102	1.03475694E+09	10144675.9	3.52	1.2
Error B	468	1.34716885E+09	2878565.93		

Los análisis de varianza correspondientes a esta etapa se resumen en los cuadros siguientes:

## Resultados de los análisis de varianza (interacciones)

	ppm			me/l		
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na/K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na/K <sup>+</sup>
<b>Entrenudos</b>						
Tallos	**	**	**	**	**	**
Pecíolos	**	**	**	**	**	**
Hojas	**	**	**	**	**	**
<b>Repeticiones</b>						
Tallos	ns	*	ns	ns	ns	ns
Pecíolos	*	ns	ns	*	*	ns
Hojas	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Tratamientos</b>						
Tallos	**	**	**	**	**	**
Pecíolos	**	**	**	**	**	**
Hojas	**	**	**	**	**	**
<b>Variedades</b>						
Tallos	**	**	**	**	**	**
Pecíolos	**	**	**	**	**	**
Hojas	**	**	**	ns	**	**
<b>Variedades x tratamientos</b>						
Tallos	**	**	**	**	**	**
Pecíolos	**	**	**	**	**	**
Hojas	**	**	**	**	**	**
<b>Variedades x Entrenudos</b>						
Tallos	**	**	*	**	**	*
Pecíolos	**	**	**	**	**	**
Hojas	**	**	**	**	**	**
<b>Tratamientos x Entrenudos</b>						
Tallos	**	**	**	**	**	**
Pecíolos	**	**	**	**	**	**
Hojas	**	**	**	*	**	**
<b>Variedades x Tratamientos x Entrenudos</b>						
Tallos	**	**	**	**	**	**
Pecíolos	**	**	**	**	**	**
Hojas	**	**	**	**	**	**

\*\* = significativo al 1%  
 \* = significativo al 5%  
 ns = no significativo

## c) Diferencia mínima significativa

Una vez conocidas aquellas variables que presentaron diferencias significativas, se procedió a efectuar una prueba de Tukey con la finalidad de determinar que valores presentaron diferencias significativas (Gill, 1978), y con ella se determinaron las diferencias significativas mínimas para entrenudos (tallos), pecíolos y hojas (láminas foliares) dentro de cada planta y entre las plantas de los distintos tratamientos. De este modo, conociendo el valor de la diferencia mínima significativa (DMS) para cada caso, es posible comparar dos valores cualesquiera entre sí; si la diferencia entre ambos es mayor que la DMS, entonces puede aceptarse que los valores son estadísticamente diferentes. Los valores de la diferencia mínima significativa obtenidos para cada variable se muestran en los cuadros siguientes:

Valores de diferencia mínima significativa

	Na <sup>+</sup>	ppm K <sup>+</sup>	Na/K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	me/l K <sup>+</sup>	me/K <sup>+</sup>
<b>Entrenudos</b>						
Tallos	1232.60	3303.25	0.135	29.41	52.74	0.231
Pecíolos	1782.01	4458.49	0.122	24.67	39.03	0.210
Hojas	882.87	2781.45	0.296	7.66	16.03	0.504
<b>Tratamientos</b>						
Tallos	1814.15	4391.77	0.184	34.36	63.77	0.313
Pecíolos	2522.78	6646.50	0.122	33.63	67.19	0.208
Hojas	1425.41	3871.86	0.465	11.79	21.22	0.791
<b>Variedades</b>						
Tallos	2539.09	6137.04	0.257	48.02	89.12	0.437
Pecíolos	3525.33	9287.79	0.171	47.00	93.89	0.437
Hojas	1991.86	5410.51	0.651	16.48	2.66	1.106
<b>Variedades x Tratamientos</b>						
Tallos	1434.64	3473.04	0.145	27.17	50.43	0.247
Pecíolos	1995.03	5256.09	0.096	26.60	53.13	0.164
Hojas	1127.22	3061.88	0.368	9.32	16.78	0.626
<b>Variedades x Entrenudos</b>						
Tallos	995.87	2410.85	0.101	18.86	35.01	0.172
Pecíolos	144.80	3806.47	0.070	19.26	38.48	0.119
Hojas	816.33	2217.42	0.266	6.75	12.15	0.453

**Tratamientos x  
Entrenudos**

Tallos	593.40	1436.53	0.060	11.24	20.86	0.102
Pecíolos	875.25	2305.93	0.042	11.67	23.31	0.072
Hojas	494.53	1343.29	0.161	4.09	7.36	0.274

**Variedades x  
Tratamientos x  
Entrenudos**

Tallos	4257.71	1030.72	0.432	8.06	14.96	0.735
Pecíolos	627.99	1654.51	0.030	8.37	16.72	0.051
Hojas	354.82	963.82	0.115	2.93	5.28	0.197