

Universidad de la República  
FACULTAD DE AGRONOMIA

**EVALUACION DE FUENTES DE  
POTASIO EN FERTIRRIEGO PARA  
TOMATE EN INVERNADERO**

por

José Germán GENTA GUARINONI  
Gonzalo TORRES NEGREIRA PIOLI

TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo

Montevideo  
URUGUAY  
2004

Tesis aprobada por:

Director: Ing. Agr. José P. Zamalvide .  
Nombre completo y firma

Ing. Agr. Carlos E. Moltini .  
Nombre completo y firma

Ing. Agr. Carlos Barros .  
Nombre completo y firma

Ing. Agr. Jorge Hernández .  
Nombre completo y firma

Fecha: \_\_\_\_\_ .

Autores: José Germán Genta Guarinoni .  
Nombre completo y firma

Gonzalo Torres Negreira Pioli .  
Nombre completo y firma

## **AGRADECIMIENTOS**

Ing. Agr. Cecilia Orihuela

Ing. Agr. Héctor Genta

Ing. Agr. José P. Zamalvide

Ing. Agr. Carlos E. Moltini

Marta Guarinoni

A la Empresa S.A.PRI.NOR y sus integrantes

Al Departamento agrícola de CALNU

A la cátedra de Fertilidad y Fertilizantes

Gabriela Soloviy

Lucia Damiani

Y a nuestras familias y amigos que nos apoyaron incondicionalmente a seguir adelante.

## 1) Introducción

En el norte del país (Bella Unión y Salto) los cultivos hortícolas bajo invernadero son manejados de forma intensiva. Dentro de los parámetros de manejo el fertirriego es uno de ellos, el cual utiliza altas dosis de fertilizantes inorgánicos. Es muy importante el ajuste de la fertilización de manera que no sea limitante del rendimiento. Por otro lado el costo de estos en relación a los demás factores de producción son relativamente altos y también por ello se hace necesario su ajuste.

El potasio puede ser aportado a través de distintas fuentes de fertilizantes (nitrato de potasio, cloruro de potasio, sulfato de potasio, etc.), la fuente más utilizada en general por los productores en invernadero es el nitrato de potasio, el cual además de aportar potasio aporta nitrógeno en forma nítrica. Las desventajas de esta fuente son su alto costo en relación a las otras fuentes potásicas y en algunos casos el aporte de nitrógeno cuando se quiere aplicar únicamente potasio. Una fuente sustituta sin estas desventajas es el cloruro de potasio. Sin embargo esta fuente puede causar toxicidad por efecto del cloruro en muchas especies hortícolas.

Los objetivos de este trabajo son: evaluación del cloruro de potasio como alternativa al nitrato de potasio como fuente de aporte de potasio, para condiciones de alto rendimiento, bajo invernadero. Para ello se evaluaron diferentes combinaciones de cloruro y nitrato de potasio, combinado con diferentes niveles de fertilización N-K.

El experimento se realizó bajo cubierta plástica por ser la forma más utilizada de producción de la zona. Debe tenerse en cuenta que la cubierta evita el efecto de las lluvias en la lixiviación del ión cloruro, el cual podría disminuir el posible efecto tóxico para el cultivo. La especie elegida para la evaluación fue tomate, que tiene altos requerimientos de potasio.

## 2) Revisión Bibliográfica

### 2.1) Fertirriego en tomate bajo invernadero

De acuerdo a la bibliografía consultada, a nivel mundial en fertilización de tomate bajo invernadero, se siguen diferentes enfoques para la toma de decisiones de la nutrición de las plantas. En términos generales, se pueden distinguir tres formas básicas de decidir dichos aportes nutricionales, las cuales coexisten hasta el presente.

El primer enfoque es muy similar al que se realiza en cultivos de tomate a campo, es decir, se utilizan informaciones de tipo y análisis de suelo, experiencias personales de productores y técnicos destacados, estado fenológico del cultivo, época del año, requerimientos de las variedades, etc. En una versión mas avanzada, la utilización del análisis foliar, donde permite en el correr de los años precisar cada vez mas el correcto aporte de cada nutriente. A este nivel, las fertilizaciones son muy espaciadas en el tiempo y son aplicadas en banda sobre los canteros o entre canteros según donde se aplique el riego. En general se utilizan riego por surcos.

A continuación se presentan las recomendaciones para producción a campo en el estado de Michigan U.S.A para distintos tipos de suelo.

Cuadro N° 1.- Recomendaciones de fertilización potásica para tomate a campo en Michigan U.S.A.

	Contenido de potasio en el suelo en ppm					
	menor 45	45-68	68-90	90-112	112-135	135-180
	Aplicación recomendada en Kg/ha de K <sub>2</sub> O					
suelo arenoso	338	281	225	169	113	56
suelo arcilloso	281	225	169	113	56	0

El segundo enfoque, utilizado por muchos investigadores y extensionistas, incluye al fertirriego como la manera más eficiente de colocar los fertilizantes en la zona radicular de las plantas, a través del agua del riego por goteo. De este modo, la fertilización es mucho más frecuente y más precisa que la anterior. A este nivel, se puede destacar dos grandes estrategias para la toma de decisiones de cuanto aplicar: a) considerar el aporte nutricional del suelo y la demanda de la planta, y no la composición de la solución en el sustrato o suelo. b) no considerar el aporte del suelo y considerar especialmente la composición de la solución. Obviamente a este nivel hay mucho por discutir, pero no es el objetivo del presente trabajo. Se podría decir, en términos generales, que si vamos de suelos pesados a muy livianos y sustratos, estaríamos transitando un poco por las dos estrategias antes descriptas. Se agrega a este enfoque la utilización del extractor de solución de suelo y/o el análisis de la solución del extracto

de pasta saturada, de la zona de mayor densidad radicular, a los efectos de tener un seguimiento de la nutrición del cultivo tanto en términos de concentración de cada elemento como de la CE y pH. A continuación se presentan dos cuadros de recomendaciones de fertilización en suelo arenoso y arcilloso.

Cuadro N° 2.- Recomendaciones de fertilización N-P-K para tomate en suelo arenoso.

Etapa fenológica	[ ] en la solución de riego en ppm		
	N	P	K
Transplante a establecimiento	120-150	40-50	180-220
Floración	150-180	40-50	220-270
Maduración y cosecha	180-200	40-50	270-300

Cuadro N° 3.- Recomendaciones de fertilización N-P-K para tomate en suelo arcilloso.

Etapa fenológica	Kg/ha/día		
	N	P	K
Floración	2.0-2.5	*	0-2.5
Maduración y cosecha	4.0-4.5	*	4.5-5.0

\* = depende de los niveles del suelo

El tercer enfoque corresponde a cultivos hidropónicos o sin suelo. El objetivo es tener una óptima relación agua/aire, ausencia de plagas y enfermedades del suelo y tener el mayor control de la nutrición. Existe innumerable bibliografía con recomendaciones de concentraciones de nutrientes, para tomate en hidroponía bajo invernadero. A continuación se presenta un cuadro con estas para tomate en el estado de la Florida, USA.

Cuadro N° 4.- Recomendaciones de composición de la solución nutritiva para tomate en hidroponía.

Estado fenológico	ppm												C.E.	pH
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Cu	Mn	Zn	Mo		
Transplante a 1 <sup>er</sup> racimo	65	50	120	80	40	56	2.8	0.7	0.2	0.8	0.2	0.05	0.8	5.5
1 <sup>er</sup> racimo a 2 <sup>ndo</sup> racimo	75	50	120	92	40	56	2.8	0.7	0.2	0.8	0.2	0.05	1.0	5.5
2 <sup>ndo</sup> racimo a 3 <sup>er</sup> racimo	95	50	150	104	40	56	2.8	0.7	0.2	0.8	0.2	0.05	1.4	5.5
3 <sup>er</sup> racimo a 5 <sup>to</sup> racimo	114	50	150	127	48	56	2.8	0.7	0.2	0.8	0.2	0.05	1.6	5.5
5 <sup>to</sup> racimo a terminación	148	50	208	127	48	56	2.8	0.7	0.2	0.8	0.2	0.05	2.0	5.5

## 2.2) Comparación de fuentes potásicas

Las fuentes más comunes de potasio para fertirrigación utilizadas a nivel mundial son: nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ), cloruro de potasio (ClK), fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) y sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ). Los criterios de elección son: precio, anión acompañante, solubilidad, rapidez en solubilizarse, interacción con el agua de riego y otros fertilizantes y facilidad en la utilización.

En términos de solubilidad el ClK es el más soluble hasta temperaturas de 20 °C, por encima de esta el  $\text{KNO}_3$  es el más soluble (ver cuadro 5).

Cuadro N° 5.- Solubilidad de distintos fertilizantes potásicos a distintas temperaturas en gr/litro.

Fuente	Temperatura °C		
	10	20	30
ClK	310	345	380
$\text{K}_2\text{SO}_4$	100	120	140
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	180	230	280
$\text{KNO}_3$	230	345	460

El Cloruro de potasio se solubiliza el 90 % en 11.2 minutos a 10 °C, mientras que el nitrato de potasio tarda 20.6 minutos y el sulfato de potasio 35.3 minutos.

La formación de precipitados es un problema que puede surgir a nivel de campo, cuando un fertilizante es mezclado con el agua de riego. Los más comunes son los formados por compuestos de Ca-P a pH mayores a 7. Otros precipitados que se dan comúnmente son los de Ca-Fe, Ca- $\text{SO}_4$  y compuestos carbonatados. Como las sales cloradas son altamente solubles, el precipitado no se da en rangos de pH de 4 a 9.

En términos económicos el cloruro de potasio cuesta la mitad que el nitrato de potasio y el sulfato de potasio. Otro beneficio atribuible al cloruro de potasio comparado con el nitrato de potasio, es que no contamina con nitrato las napas freáticas. También hay que considerar que el cloruro de potasio es un fertilizante válido para la producción orgánica ya que su origen natural.

Kirschbaum et al realizó experimentos durante dos años (2000 y 2001) en frutilla, en Tucumán, Argentina. El concluyó que el cloruro de potasio podía reemplazar el nitrato de potasio de forma parcial o total, sin afectar los rendimientos ni calidad, especialmente en etapas más avanzadas del cultivo. También el autor deja presente que el grado de sustitución de cloruro de potasio por nitrato de potasio va a depender de la calidad del agua en términos de C.E. y contenido de cloruros.

### **2.3) Propiedades físico-químicas y funciones fisiológicas del cloro**

El cloro (Cl) es muy abundante en la atmósfera y litosfera, su concentración es de 0.02 a 0.05 % en la corteza terrestre, principalmente se encuentra en rocas ígneas y metamórficas. La mayoría del cloro en los suelos existe como sal soluble, tales como NaCl, CaCl<sub>2</sub> y MgCl<sub>2</sub>. El cloro es muchas veces el principal anión extraído en suelos salinos. La cantidad de cloro en la solución del suelo puede ir de 0.5 ppm o menos hasta 6000 ppm. En el agua se comporta como ion Cl<sup>-</sup>, el cual es muy móvil y fácilmente absorbido y acumulado por las plantas. La concentración media de cloro dentro de las plantas varía en un rango de 1 a 20 g/Kg en base seca, el cual es del mismo orden del que se encuentran los macronutrientes. El cloro a diferencia de otros micronutrientes puede estar en muchos casos en altas concentraciones, dentro de las plantas, sin causar efecto tóxico. Aunque el cloro se encuentra en altas concentraciones en los tejidos de la mayoría de las plantas, el requerimiento óptimo para el crecimiento es muy inferior y del orden de 150-300 mg/Kg (Tisdale et al).

El cloro y el sodio han sido frecuentemente citados como elementos esenciales para los animales pero no para las plantas. Nueva evidencia sugiere que el cloro es esencial para los animales y para las plantas. Es un micronutriente para las plantas pero un macronutriente para los animales (Thompson y Troeh). Broyer, Carlton, Johnson y Stout en 1954 encontraron que el cloro era esencial para el crecimiento de las plantas de tomate. Desde esa fecha ellos han demostrado la esencialidad del cloro en otras muchas especies. Para producir deficiencia de cloro se requiere, regar con agua tratada con carbón activo y luego destilarla, limpiar el cloro del aire, ya que hay especies de plantas que pueden absorberlo desde allí y evitar el polvo, sudor o impurezas químicas (Thompson y Troeh). La abundancia de cloro en los suelos dificulta los estudios para demostrar su esencialidad en la nutrición de las plantas. Usualmente una pequeña cantidad de cloro entra a los experimentos a través del agua, químicos utilizados, polvo, transpiración de las manos de las personas o incluso en las semillas plantadas. Por esto es más fácil probar su efecto beneficioso que su esencialidad, ver cuadro N° 6 (Thompson y Troeh).



Cuadro N° 6.- Disminución del rendimiento en distintas especies en ausencia de cloro.

	Rendimiento sin cloro (% del rendimiento sin cloro)
<b>Lechuga</b>	30
<b>Tomate</b>	35
<b>Repollo</b>	42
<b>Remolacha azucarera</b>	49
<b>Alfalfa</b>	68

Las plantas absorben mucho mas cloro del que necesitan. El cloro sirve como anión para el balance en la absorción de cationes como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  y  $\text{NH}_4^{+}$ . Esta función puede ser sustituida por otros aniones como  $\text{NO}_3^{-1}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$  y  $\text{SO}_4^{-2}$  (Thompson y Troeh).

El cloro se encuentra en muchos compuestos de la naturaleza, pero su función principal es actuar como anión en procesos como osmoregulación y compensación de cargas. En 1946, Warburg y Luttgers mostraron que la hidrólisis del agua en el fotosistema II (PS II) requería cloro. Sin embargo la actividad fotosintética no se vio inhibida por deficiencia de este elemento. Posteriormente se constato que existe una estricta regulación de la concentración de cloro dentro de los cloroplastos, en donde se remueve cloro de otras partes de las hojas, para mantener el mismo nivel en dichos cloroplastos (2.84 g/Lt). Por otra parte, existe una relación muy alta entre la estimulación del  $\text{Cl}^{-}$  a la enzima ATPasa y el crecimiento en longitud de las raíces, esto puede explicar el porque de la inhibición del crecimiento de las mismas en condiciones de deficiencia de  $\text{Cl}^{-}$  (Hager y Helmle).

El cloro puede afectar indirectamente el crecimiento, por la vía de la regulación estomática, como anión contrarrestante del K. El cloro ingresa a la célula guardiana con el K, por contrapuerto de protones o por antipuerto de iones hidroxilo. La salida del cloro de la célula guardiana aparentemente es realizada por dos tipos de canales (Tipo S y Tipo R), los que se producen por una despolarización de la membrana provocada por diversos factores, como la hormona ácido absicico (ABA), que estimula el cerrado estomático (Schroeder et al). Esta compensación de cargas mostrada por el  $\text{Cl}^{-}$  en vez del malato, es importante en plantas en donde las células guardianas de los estomas están poco desarrolladas o ausentes, es el caso de la cebolla (*allium cepa*) y el coco (*cocos nucifera* L ). En estas plantas el crecimiento es inhibido en condiciones de deficiencia de cloro, el cual determina el cierre estomático en condiciones de sequía.

El cloro puede estimular el crecimiento mediante la inhibición de enfermedades como es el caso de la mancha gris en las palmas de coco o mejorar la calidad en papas (Von Uexkull). La aplicación fertilizantes que contengan cloro algunos días antes de la

cosecha provoca la disminución del N-NO<sub>3</sub> en los tejidos debido a la sustitución de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por Cl<sup>-</sup> (Jackson y McBride).

En los últimos años se ha investigado el efecto de la salinidad en la calidad de las cosechas. En estos estudios se ha utilizado el sistema de fertirriego para agregar sales, tales como MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub> y NaCl a las plantas y de esta manera mejorar su calidad. Mizrahi et al encontró que la aplicación de sales a cultivos de tomate mejoraba la calidad del fruto. Siton et al encontró que el riego con agua salina (EC = 7 dS/m, 1,881 g/l Cl<sup>-</sup>) incrementaba la concentración de glucosa y de ácidos titulables y mejoró el sabor de la fruta. Sin embargo, en los tratamientos con más alta salinidad el rendimiento bajo en aproximadamente un 25 %.

La concentración de cloro en los tejidos para el crecimiento óptimo, varía entre 70 mg/Kg en tomates (*Lycopersicon esculentum*, mill) (Ozanne et al.) y 1000 mg/Kg para el kiwi (*Actinidia deliciosa*). La concentración tisular, en donde el cloro es tóxico, es de 3 a 5 g/kg para las plantas sensibles y de 20 a 40 g/Kg para plantas tolerantes.

## 2.4) Cloro en el suelo

Los átomos de cloro (Cl) tiene la misma carga y casi el mismo tamaño que los iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>), de esta manera el cloro sustituye a los iones hidroxilo en las estructuras minerales (Thompson y Troeh).

Cantidades considerables de cloro están unidas a compuestos orgánicos. Los átomos de cloro están en la punta de dichos compuestos orgánicos y nunca en la mitad de la cadena ya que tienen una sola unión covalente (Thompson y Troeh).

Las sales cloradas (iones metálicos asociados con Cl<sup>-</sup>) son muy solubles. Esta solubilidad explica la facilidad con que el cloro puede ser lavado en suelos bien drenados de regiones húmedas. Suelos que contienen sales solubles normalmente tienen cloro en solución. Este es muy móvil, se mueve en dirección descendente cuando llueve y en dirección ascendente cuando el agua se evapora (muchos autores). El movimiento ascendente del agua produce suelos salinos en regiones áridas. En periodos de sequía el movimiento ascendente del agua por capilaridad deja suficiente sal (incluidas sales cloradas) como para formar costras blancas sobre la superficie (Thompson y Troeh).

En algunos suelos fuertemente ácidos o caoliniticos con sitios de intercambio aniónico dependientes de pH puede haber cloro intercambiable (Tisdale et al).

En condiciones naturales, las plantas reciben cantidades apreciables de cloruros (principalmente como cloruro de sodio) con la lluvia. En Rothamsted, Inglaterra el promedio de aporte es de 18 Kg/ha/año y fluctúa entre 11.5 y 27.35 Kg/ha/año (Russell

y Richards). Sin embargo, mas cerca del mar las cantidades pueden ser mucho mayores alcanzando según determinaciones de Miller a los 6449 Kg/ha/año.

## 2.5) Deficiencia de cloro

El cloro no esta presente como un metabolito dentro de la planta, si como un anión móvil (Follett et al). Los síntomas generales de deficiencia, son clorosis en hojas nuevas y luego marchitamiento general de la planta, también crecimiento del sistema radicular restringido y muy denso a menudo con engrosamiento de puntas de raíz. El cloro aparece involucrado en procesos como la fotosíntesis, la translocación de azúcar y el mantenimiento e incremento del potencial del agua en la hoja (Bennett). Especies muy susceptibles son por ejemplo lechuga, repollo y zanahoria. Concentración critica de cloro en las hojas es del orden de 100 µg/g (Broyer et al; Johnson et al).

Síntomas de deficiencia de cloro fueron observados en tomate y fueron corregidas con el agregado de 100 µM cloro en la solución de riego. Los primeros síntomas fueron marchitamiento del ápice vegetativo y luego de los foliolos laterales de las hojas viejas. En estadios mas avanzados de deficiencia hubo producción de pigmento bronceado en las áreas que no estaban marchitas y en las áreas marchitas de las plantas se volvieron cloróticas y necróticas. Las frutas disminuyeron en numero y tamaño (Broyer et al.; Johnson et al.). Las hojas de tomate con deficiencia de cloro, aparentemente tienen el citoplasma coagulado y pigmentado de color bronce. Aislado este pigmento mostró insolubilidad al ácido, álcali, alcoholes o xilol. Las células colapsaron de forma errática (Johnson).

En lechuga mostró síntomas de marchitamiento pero no daño necrótico. En las raíces de lechuga mostraron los mismos síntomas que las de tomate. Las hojas de Repollo mostraron síntomas de marchitamiento y clorosis (Bould et al).

Las hojas de las brasicas con deficiencia de cloro, perdieron su olor característico (Johnson) y fue atribuido a la sustancia S-metilcisteinsulfoxido (MCSO). Hay altos incrementos de la cantidad de aminoácidos incluyendo sulfoxido de metionia (Freney et al.).Hubieron aumentos importantes en arginina, prolina, glutamina, aspargina y aumentos moderados en serina, treonina, ácido pipecolico y alanina en plantas de coliflor y repollo con deficiencia de cloro (Freney et al.).

La evidencia de deficiencias de cloro en trigo y en otros cereales de granos pequeños bajo condiciones de campo, están progresando, pero los síntomas todavía no son claros. El cloro parece ser esencial en condiciones controladas, pero a nivel de campo no se ha encontrado respuesta o es marginal. En algunos experimentos la aplicación de cloro aumenta el rendimiento de algunos cereales de granos pequeños, pero el mecanismo de esta respuesta es desconocido y aparentemente depende del

ambiente, enfermedades, etc. La aplicación de cloro puede acelerar el desarrollo de la espiga en el trigo de primavera e incrementar el peso y volumen de semilla en trigo y cebada (Bennett).

Altos niveles de cloro pueden reducir las manchas de enfermedades sobre las hojas de trigo y el impacto negativo de enfermedades de suelo, se sugieren dos mecanismos para este efecto (1) incremento de la absorción  $\text{NH}_4^+$  por la inhibición de la nitrificación por el cloro, reduciendo el pH de la rizosfera, (2) competencia entre la absorción de Cl y  $\text{NO}_3$ , en donde plantas con niveles bajos de  $\text{NO}_3$  son menos susceptibles a enfermedades. Algunas respuestas al rendimiento encontradas y atribuidas al K luego de aplicaciones de KCl pueden haber sido resultado de la supresión de enfermedades causada por el Cl. Suplementos de cloro son mas beneficiosos en casos de suelos lavados o en lugares donde no se ha aplicado sales ni fertilizantes conteniendo cloro (Bennett).

Cuando el cloro es aplicado como cloruro de sodio en espárrago, suprimió la incidencia de fusarium, además de mayor longevidad y rendimiento de la planta (Fixen).

En cereza, la aplicación de cloro disminuyo la incidencia de fusarium (Fixen).

Los síntomas de deficiencia de cloro en remolacha azucarera aparecen en las hojas jóvenes del centro de la planta. El área internerval de las hojas aparece de color verde claro a amarillo, la nervadura principal se mantiene verde y erecta. Si las hojas se miran a trasluz, se puede ver que entre las nervaduras principales se presenta un mosaico, que en su primera fase es similar a la deficiencia de Mn. A medida que avanza la deficiencia las raíces dejan de crecer, el área internerval de las hojas se pone delgada y finalmente se secan contrastando con las nervaduras verdes y erectas. Estos síntomas son propios de deficiencia de cloro y son claramente distinguidos de otras deficiencias de nutrientes (Bennett).

Hay que aclarar que las deficiencias de cloro se dan mayoritariamente en condiciones experimentales y que es muy difícil de encontrarlas a nivel de campo.

## **2.6) Toxicidad del cloro**

Los síntomas más claros de toxicidad por exceso de cloro son: desecamiento del borde de las hojas, clorosis y abscisión. Ocurre normalmente con aguas de riego saladas que contengan cloro, en esas circunstancias es muy común que aparezcan síntomas. La concentración máxima en las hojas es de 0.5 % para plantas sensibles y 4 % para plantas tolerantes. La prevención radica en lavar el suelo y de esta forma sacar el exceso de sal (Scaife y Turner).

Exceso de cloro puede causar ablandamiento de papas o baja calidad en la combustibilidad del tabaco (Thompson y Troeh).

El cloro es el anión prevalente que acompaña al  $\text{Na}^+$  y el  $\text{K}^+$ , tanto en el citoplasma como dentro de la vacuolas, normalmente esta en la misma molaridad que la suma de  $\text{Na}^+$  más  $\text{K}^+$ . Esta presencia conjunta de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  dificulta la evaluación de la toxicidad del  $\text{Cl}^-$  (Jacoby). Solamente un pequeño número de experimentos han sido publicados tratando de determinar el efecto directo de la toxicidad del cloro. Leopold y Willing expusieron trozos de hojas cotiledonales a diferentes tipos de sales y determinaron el efecto en la integridad de la membrana, midiendo la posterior unión del agua con solutos orgánicos. Encontraron que había un 28 % más de uniones cuando se reemplazaron 133 mM de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  por 200 mM  $\text{NaCl}$ . Este resultado puede ser explicado por una toxicidad específica del cloro, dado que la concentración de  $\text{Cl}^-$  fue mayor que la de  $\text{SO}_4^{2-}$ . Por otra parte, Meiri et al encontró que 96 mM  $\text{NaCl}$  fueron menos detrimenales para el crecimiento que 72 mM de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Greenway and Munns compararon el contenido de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en hojas de siete subespecies tolerantes a la salinidad y siete no tolerantes. En cuatro de ellas, la tolerancia estuvo relacionada al contenido bajo de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ . En dos de los casos, había una pequeña diferencia en la concentración de cada ion o había algún incremento en la concentración de los dos iones en plantas tolerantes. En un caso había un gran descenso de concentración de  $\text{Na}^+$  en una subespecie tolerante, pero no había diferencia en la concentración de  $\text{Cl}^-$ . En resumen los datos indican que concentraciones altas de  $\text{Cl}^-$  en las hojas no esta relacionada a la sensibilidad en ninguno de los casos. Una conclusión similar se puede sacar de la comparación de contenidos de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en variedades de maíces tolerantes y sensibles a la salinidad (Bowman y Strain). El  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  fue excluido de las hojas de las variedades tolerantes, pero la exclusión fue mucho mas eficiente para el  $\text{Na}^+$  que para el  $\text{Cl}^-$ . En algunas especies sensibles como *Phaseolus coccieneus* y *P. vulgaris*, se encontró que el  $\text{Na}^+$  era excluido de la raíz pero no así el  $\text{Cl}^-$  (Malek y Baker).

El crecimiento del poroto castor a diferentes niveles de salinidad no estuvo relacionado con el cloro en las hojas, pero si con el contenido de  $\text{Na}^+$  en las mismas. El crecimiento no fue afectado por la adición de 70 mM de  $\text{NaCl}$ , pero el crecimiento descendió un 80 % con concentraciones entre 80 mM y 160 mM. El contenido de cloro en las hojas se incremento linealmente con el aumento de la concentración de  $\text{NaCl}$ , donde el  $\text{Na}^+$  fue excluido de las hojas con contenidos mayores a 70 mM de  $\text{NaCl}$  y su contenido en las hojas estaba correlacionado con la inhibición del crecimiento (Jeschke y Wolf).

Aunque los citados experimentos muestran que las especies tolerantes a la salinidad, pueden soportar mayores niveles de  $\text{Cl}^-$  en las raíces que de  $\text{Na}^+$ , no se puede deducir la mayor toxicidad del  $\text{Na}^+$  que el  $\text{Cl}^-$  a nivel citoplasmático. La aparente mayor

tolerancia al  $\text{Cl}^-$  que al  $\text{Na}^+$  estaría dada por el mejor compartimentalización del  $\text{Cl}^-$  dentro de las vacuolas. Todas las plantas aparentemente serían capaces de acumular cloro en las vacuolas de sus células mientras que muchas son deficientes en su antipuerto  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  necesitado para ocluir el  $\text{Na}^+$  en las vacuolas (Mennen et al).

La acumulación de cloro en el suelo incrementa el potencial osmótico, entonces reduce la absorción de agua, a concentraciones muy altas los ápices de raíz se mueren y el crecimiento es seriamente restringido. El cloro es uno de los elementos vinculados a la inhibición de la germinación y establecimiento inicial de un cultivo, cuando son aplicadas grandes cantidades de fertilizantes justo antes de la siembra (Williams).

Los síntomas de exceso de cloro en las brasicas incluyen quemado de la punta y margen de las hojas, bronceado y amarillamiento prematuro de las hojas. Las plantas varían su sensibilidad con respecto al exceso de cloro. La frutilla, las arvejas, los porotos serían ejemplos de especies muy sensibles, por otra parte la remolacha, la espinaca, la cebada serían las menos sensibles (Bould et al).

Las cebollas son muy susceptibles a la toxicidad del cloro, este desorden está asociado al riego con aguas que contienen cloro. La toxicidad del cloro se manifiesta con clorosis de las hojas, quemado de las puntas y frenado del crecimiento (Bennett).

La toxicidad del cloro en citrus es un problema importante, especialmente en áreas secas o costeras. El cloro acumulado en las hojas y el agua salina aplicada en las mismas hace incrementar las chances de problemas de toxicidad. Los síntomas son bronceados de las hojas, quemado de puntas de hoja, necrosis del margen de las hojas y defoliación. Se han utilizado distintos pies para evitar la toxicidad con cloro, trifolia y sus híbridos derivados son particularmente sensibles, pero Cleopatra y otras mandarinas y el naranjo amargo son tolerantes (Bennett).

Los síntomas de exceso en viña son curvamiento por debajo de los márgenes de las hojas y muerte de hojas con descoloramiento. Las hojas muertas caen y provocan la brotación de yemas laterales o incluso de yemas dormidas. Los sarmientos no sazonan suficientemente llevando a problemas de brotación al siguiente año. En casos extremos el exceso puede causar muerte total de la planta. Los viñedos más viejos son más susceptibles al exceso de cloro que los nuevos (Bennett).

El cloro compite en la absorción con el  $\text{NO}_3^-$  y el  $\text{SO}_4^{2-}$ , de esta forma puede bajar las concentraciones de proteína en algunos trigos (Tisdale et al).

## **2.7) Potasio**

En este trabajo, la revisión bibliográfica sobre potasio se centrará principalmente en su relación con la planta y dentro de ella, no así en su dinámica en el suelo, tema bien desarrollado por Hernández et al en capacidad de suministros de potasio en suelos del Uruguay.

### **2.7.1) Disponibilidad de potasio en la interfase suelo-raíz y los factores que influyen en la absorción de potasio**

#### **2.7.1.1) Mecanismos de suministro de potasio a las raíces de las plantas**

Cuando las raíces de las plantas crecen en una solución nutritiva agitada, el movimiento reemplaza el potasio que fue removido de la superficie de la raíz. Pero cuando las plantas crecen en suelo, muy poco del potasio que requieren las plantas están en la superficie de la raíz. Después que el potasio es removido de la superficie, el potasio es reemplazado vía flujo masal o difusión a través del suelo. Las plantas absorben agua y causan un flujo masal convectivo de solución de suelo hacia la raíz. Como en la solución de suelo hay potasio disuelto, este es llevado a la superficie de la raíz. Si el potasio proporcionado vía flujo masal, más el interceptado inicialmente (en el suelo en la superficie de la raíz), no son suficientes para los requerimientos de potasio de la planta, la concentración de potasio en el suelo y en la solución que rodea la superficie de la raíz, serán reducidas por la absorción de esta. Esto último creará un gradiente de concentración perpendicular al eje de la raíz. El potasio difundirá a través de este gradiente. La proporción de cada mecanismo dependerá de la superficie y del radio medio del sistema radicular, de las características de la absorción de potasio, de la tasa de absorción de agua, de la tasa de difusión del potasio, de las cantidades absorbidas y las que hay en la solución del suelo (Barber, S 1985).

Las raíces de las plantas anuales normalmente ocupan menos del 1 % del volumen de suelo (Barber et al, 1962), por lo tanto las plantas podrán tener al alcance menos del 1 % del potasio contenido en este. Esta cantidad es mucho menor a sus requerimientos. La cantidad de potasio que alcanza la raíz solamente por flujo masal, será igual aproximadamente al potasio que hay en la solución del suelo, equivalente al volumen de raíces. La cantidad de potasio que se mueve hacia la raíz por flujo masal depende de la concentración que halla en la solución de suelo. La cantidad de agua absorbida puede ser calculada en términos de la media del flujo hacia la raíz que es aproximadamente  $1 \times 10^{-7}$  ml/cm<sup>2</sup>/s o por la tasa de transpiración medida como Kg de agua transpirado por kg producido. Esto tiene un rango entre 200 a 600 Kg de agua por kg producido y es útil para estimar la cantidad de potasio que se absorbe por flujo masal. Asumiendo que la planta transpira a una tasa de 400 Kg/Kg y una concentración de potasio a la cosecha de 40 gr/Kg (4 % de potasio). Si se divide la cantidad de potasio en

la planta por 400, obtenemos la cantidad media de potasio en la solución de suelo necesaria para abastecer la planta por flujo masal. En este caso es 100 mg K /lt o 0.01 % de potasio (Barber, S 1985).

Barber et al 1962 midieron el potasio en extracto de pasta saturada de 142 suelos del medio oeste de USA y encontraron que los valores se situaban entre 1 y 60 mg K /lt. Reisenauer (1964) encontró entre 11 y 200 mg K / Lt en suelos que eran mayormente arenosos. Barber et al 1962 encontraron que el 42 % de los suelos estaba entre 2 y 5 mg K / lt. Reisenauer encontró que el 55 % estaba entre 11 y 60 mg K / lt. Hernandez (1985) encontro que el rango de K para 13 suelos del Uruguay, de distintas texturas, era 5.8 y 80.7 mg K/ lt. En todos los casos el suelo no podría abastecer de potasio mediante flujo masal, entonces el potasio tendrá que llegar a través de difusión. Los suelos lixiviados donde la fertilización potásica es requerida, los 2 a 5 mg K /lt que contienen esos suelos llegaran a suministrar entre el 2 – 5 % de los requerimientos. Por lo tanto la difusión aparentemente es el principal mecanismo de suministro de potasio desde el suelo a la interfase radicular (Barber, S 1985).

### **2.7.1.2) Factores que influyen en la difusión del potasio del suelo**

La difusión de potasio en el suelo se da con aniones o por contra-difusión con cationes como el H<sup>+</sup> en dirección opuesta.

Los factores que influyen en la difusión son:

- Contenido de agua en el suelo

El volumen que ocupa el agua en el suelo determina el área de sección transversal por donde difunde el potasio, parámetro correlacionado positivamente con la difusión del mismo. El contenido de agua varia entre 5 % en suelos arenosos a 50 % en arcillosos, el menor valor ocurre en el punto de marchites permanente y el mas alto a capacidad de campo.

- Impedancia

El agua en el suelo esta en forma de films, haciendo que la difusión alrededor de las partículas de suelo y espacios de aire sea en forma de circuito, entonces la tortuosidad si es mayor, menor será la tasa de difusión de potasio por cm<sup>2</sup>/suelo, en adición a la tortuosidad la viscosidad del agua es mayor cerca de la superficie de las partículas, esto producirá que la tasa de difusión sea menor. Warncke y Barber (1972) encontraron que la tortuosidad es menor cuanto mayor contenido de agua tenga el suelo.

- Poder buffer

A medida que la CIC se incrementa, se incrementa el poder buffer y aumenta la difusión

- Temperatura

El efecto principal de la temperatura en la difusión es sobre la viscosidad del agua, el incremento de 20°C a 30 °C hará aumentar un 30 % la difusión (Barber, S 1985).



## 2.7.2) Forma de ingreso del potasio a las células

El potasio es el cation más importante dentro de las plantas. Es muy importante comprender la forma en que este entra a la planta, para poder entender más la dinámica de este nutriente. Se sabe que dentro de la solución del suelo el potasio se mueve por difusión simple y flujo de masa hacia la superficie de células de la corteza de la raíz (Clarkson y Hanson, 1980).

La absorción de potasio depende de: contenido de potasio en el tejido, competencia por otros iones en la solución externa ( $\text{NH}_4$ , Rb, etc), disponibilidad de energía en forma de ATP y la diferencia de potencial eléctrico a través de la membrana plasmática (Leonard, R 1985).

La tasa de absorción de potasio hacia dentro de las células de la raíz es regulada por la concentración de potasio en el tejido. A medida que el contenido de potasio dentro del tejido se incrementa, la tasa de absorción decrece. La cantidad de potasio en la raíz es explicado por el contenido de potasio en la vacuola (70 a 90% del potasio se encuentra en la vacuola de la mayoría de las plantas). Los niveles de potasio citoplasmático no cambia en proporción directa a los niveles de potasio en la vacuola donde el volumen citoplasmático es muy pequeño, por lo tanto una pequeña cantidad de potasio es suficiente para mantener cierta concentración. Por lo antes dicho los niveles de potasio en la vacuola influyen de alguna forma el transporte de potasio a través de la membrana plasmática (Glass A, 1983).

A medida que se incrementa la concentración de potasio en la solución del suelo, la tasa de absorción de las células de la raíz se incrementa de forma proporcional, esto ocurre hasta cierto punto a partir del cual grandes cambios en la concentración del suelo provocan pequeños cambios en la tasa de absorción. Este tipo de respuesta es conocido como saturación cinética, la que se produce cuando las enzimas encargadas del transporte del potasio desde la solución del suelo al interior de la célula se saturan en su sitio de acción (Kochian, Lucas 1982).

La tasa de absorción de potasio hacia adentro de la raíz esta directamente relacionado con el contenido de ATP en las células. Muchas sustancias (ej. cianuro, arsénico) o condiciones (ej. Baja temperatura o no existencia de oxígeno) que inhiben la absorción de potasio, también reducen la síntesis de ATP por parte de la raíz (Petraglia, T y Poole, R 1980).

Como el caso de todas las células de las plantas, el citoplasma de las células de la raíz son eléctricamente negativas, entre 50 y 200 mV (dependiendo de la especie estudiada) cuando es comparado con la solución externa. Esta diferencia de potencial es generada en parte por una bomba eléctrica dependiente de ATP, la que probablemente

expulsa cargas positivas en forma de  $H^+$ , para generar el exceso de carga negativa dentro del citoplasma, quedando cargado negativamente, lo que atrae cargas positivas del catión potasio (Loppert, H 1983).

Las células de las plantas en general, y las de la raíz en particular, bombean grandes cantidades de  $H^+$  (producido por ácidos orgánicos del metabolismo) desde el citoplasma de las células a la solución del suelo, produciendo cambios de pH. Hay una marcada correspondencia entre el bombeo de  $H^+$  desde la raíz y la absorción de K dentro de las células de la misma (Marschner y Romheld en 1983).

### **2.7.3) Rol del potasio en la catálisis enzimática**

Las enzimas activadas por iones monovalentes en biología, participan en muchas reacciones reguladoras importantes. Fenómenos importantes como el potencial eléctrico son generados por Na, K (Suelter, C. 1985). La turgencia de la célula es mantenida principalmente por potasio (Zeiger, 1983). Los valores de activación de la enzimas ranquean entre 0.01 a 0.1M de concentración de sustrato, para que se alcance la mitad de la velocidad máxima de la reacción (sustrato a producto), parámetro conocido como  $K_a$ , esto en condiciones de saturación de potasio o amonio o ambos. Los cationes monovalentes aumentan la afinidad de las enzimas por uno o más sustratos (Suelter C. 1985). Hay evidencia que indica que los cationes monovalentes activan las enzimas interactuando cerca del sitio catalítico o en el sitio alostérico (Kayne y Reuben 1970). Datos de resonancia magnética nuclear muestran que los cationes monovalentes actúan en el centro de las enzimas. Los cationes monovalentes que activan enzimas se pueden clasificar en dos clases: catalíticos de reacciones que transfieren grupos fosfatos y en reacciones que corresponden a hidrólisis o eliminación de productos o sustancias (Suelter, C. 1985).

### **2.7.4) Efecto del potasio en las plantas y en las estructuras celulares**

La concentración de potasio en la célula generalmente tiene un rango de 100-200 mM de potasio. El potasio es el componente osmótico inorgánico más importante y promueve el crecimiento mediante el agrandamiento celular (citado por Beringer, H y Nothdurft F).

En las hojas el incremento del tamaño de las células es acompañado por el aumento del número de cloroplastos por célula. Periodos cortos de falta de potasio causan el agrandamiento de plastidos y plantas con deficiencia de potasio presentan pocas granas dentro de los cloroplastos (citado por Beringer, H y Nothdurft F).

Células más grandes como respuesta al suministro de potasio implica una mejor síntesis de sustancias de la pared celular. Frecuentemente la pared celular es más ancha

provocando mayor estabilidad tisular y mejorando la resistencia de los cultivos a pestes y enfermedades y mejorando el almacenamiento (citado por Beringer, H y Nothdurft F).

### **2.7.5) El rol del potasio en la fotosíntesis y la respiración**

Las deficiencias de potasio dan como resultado baja tasa de fotosíntesis neta y translocación y aumenta la tasa de respiración en ausencia de luz. Los tres factores contribuyen a la reducción del crecimiento de la planta. Aunque el potasio juega un rol muy importante en el mecanismo de apertura estomática, la reducción de la fotosíntesis no es usualmente causada por una limitación estomática (citado por Huber, S).

La actividad y capacidad del aparato fotosintético es disminuido en hojas que tienen deficiencia de potasio. Las reacciones fotoquímicas que generan ATP y NADPH<sup>+</sup> son probablemente menos afectadas que las no dependientes de la luz u “oscuras”, las cuales utilizan intermediarios con alta energía. Los cloroplastos de las hojas con deficiencia de potasio tendrán actividad reducida de algunas enzimas del ciclo de Calvin y su actividad in situ será indirectamente limitada por la disponibilidad de potasio (citado por Huber, S).

Aparentemente el transporte de potasio dentro del cloroplasto es requerido para establecer y mantener al estroma en un ambiente alcalino y de esta manera se dan las máximas tasas de fotosíntesis (citado por Huber, S).

Las hojas con deficiencia de potasio acumulan su sacarosa y hexosas aparentemente en respuesta al decrecimiento del potencial de agua dentro de la hoja. La respiración es incrementada concurrentemente con la acumulación de hexosas y refleja un incremento en la tasa de provisión de sustratos oxidables a la mitocondria. Los efectos del stress de potasio son complejos y afectan muchos procesos involucrados en la asimilación, producción y utilización (citado por Huber, S).

### **2.7.6) Importancia del potasio en el transporte asimilativo**

Investigaciones recientes muestran que las enzimas ATPasas de la membrana están presentes en todas las células de las plantas y probablemente en todos los tejidos. La actividad de la ATPasa es de crucial importancia para el intercambio de nutrientes y metabolitos entre el apoplasto y el sinplasto. Probablemente la presencia de potasio es esencial para la total actividad de esta enzima. Por lo tanto la función del potasio es universal, teniendo un impacto en numerosos procesos fisiológicos como absorción de agua desde el suelo, retención de agua en el tejido, crecimiento meristemático y transporte a grandes distancias vía floema o xilema (citado por Mengel, K).

## **2.7.7) El rol del potasio en la calidad del tomate**

Wilcox en 1964 reportó un incremento en el contenido de potasio en el jugo de tomate desde 29 a 47 gr por Kg de fruta, como resultado de la aplicación de 500 Kg/ha de potasio. Él encontró que la producción temprana era la misma en parcelas con y sin potasio, pero cuando fue avanzando el cultivo, las parcelas con deficiencia de potasio tuvieron menor rendimiento. Como resultado a la deficiencia inducida de potasio hubo caída de hojas causando daños en los frutos por el sol.

Con deficiencia de potasio ocurren desórdenes en la maduración del tomate (Windsor et al 1961). El desarrollo de color rojo en frutos de tomate es debido mayormente a la síntesis de carotenoides. Trudel y Ozbun en 1971 analizaron frutas con carotenoides y encontraron que el potasio incrementaba la concentración de la mayoría de los carotenoides, particularmente licopeno.

Rendimientos comerciales de tomate son influidos por el potasio. Altas cantidades de potasio y nitrógeno, son necesarios para alcanzar no solamente la mayor producción, sino también el mayor porcentaje de producción comercial (Swiader, 1984). Resultados similares han sido encontrados en New Jersey, el potasio duplicó la producción total, además de incrementar el porcentaje de tomate de primera calidad desde 26 % a 69 % (Munson, 1979).

El potasio también tiene una influencia muy importante en el metabolismo de los ácidos dentro de la fruta del tomate, particularmente en los ácidos cítrico y málico. Con una nutrición apropiada de potasio generalmente la fruta llega a tener altos contenidos de sólidos, azúcares, ácidos, carotenos y licopenos, y tiene una mejor durabilidad de la calidad. Bajo condiciones de deficiencia de potasio las frutas maduran prematuramente y tienen problemas en el sabor. El cultivo de tomate es uno de los que requiere altos contenidos de potasio para alcanzar calidades altas en adición a rendimientos elevados (Von-Uexkull, 1978).

## **2.8) Concentración salina de la solución de suelo**

### **2.8.1) Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica de la solución es causada por la disociación de sus sales en iones, positivos y negativos. Estos al poner dos electrodos conectados a una fuente de energía eléctrica, hacen que los positivos (cationes) se vean atraídos hacia el electrodo negativo y los negativos (aniones) al positivo. Este fenómeno de movimiento de iones es responsable de transportar la corriente eléctrica, la que es fácilmente medible, por un conductímetro. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente eléctrica (Hanson et al).

Cuadro N° 7.- Valores mas frecuentes de conductividad de algunas muestras típicas.

	Conductividad a 25°C
Agua Ultra-pura	0.05 $\mu$ S/cm
Agua de alimentación a calderas	1 a 5 $\mu$ S/cm
Agua potable	100 a 200 $\mu$ S/cm
Solución de Suelo	0.5 - 2.5 mS/cm
Agua de mar	53.0 mS/cm
5 % NaOH	223.0 mS/cm

### 2.8.2) Factores que afectan la conductividad

Muchos factores afectan la conductividad eléctrica. Existen iones que conducen más electricidad que otros, por ejemplo 1000 mg/lit de  $\text{CaSO}_4$  tiene una conductividad eléctrica de 1.2 mS/cm, mientras que el NaCl para la misma cantidad tiene 2 mS/cm. La conductividad eléctrica aumenta cuando aumenta la concentración de sales, pero la tasa de incremento no es absolutamente constante sino que tiende a ser cada vez menor. Esto se debe a que a medida que aumenta la concentración dentro de la solución, cada vez existen mas porcentaje de moléculas no disociadas, por lo tanto para medir conductividad eléctrica, debe manejarse con precaución las diluciones con agua destilada, porque estaríamos sobrestimando en alguna medida la conductividad eléctrica. La temperatura también afecta la conductividad eléctrica. Por ejemplo si la conductividad eléctrica de una solución es 5 mS/cm a 25 °C, será 5,5 mS/cm a 30 °C; las medidas estándares se refieren a 25 °C (Hanson et al).

### 2.8.3) Relación entre conductividad y sólidos disueltos totales

La cantidad total de sólidos disueltos (TSD) se puede estimar mediante la medición de la conductividad eléctrica de la solución.

Algunas relaciones encontradas entre el total de sólidos disueltos (TSD) y la conductividad son:  $\text{TSD (ppm)} = 640 \times \text{Ce (mS/cm)}$ , cuando la conductividad eléctrica es menor a 5 dS/m y  $\text{TSD (ppm)} = 800 \times \text{Ce (mS/cm)}$ , cuando la conductividad es mayor a 5 dS/m. Estas relaciones son muy variables según la composición y el tipo de sólidos disueltos que contenga la solución (Hanson et al). Por ejemplo: 1 meq de Cloruro de sodio por litro son 58.5g/lit y de bicarbonato de calcio son 81g/lit.

#### **2.8.4) Efectos negativos de la salinidad**

Las sales disueltas en la solución del suelo pueden reducir el crecimiento y el rendimiento mediante dos formas, osmóticamente y por toxicidad de ion específico. La forma osmótica sería la principal responsable de dichas reducciones (Hanson et al).

El agua ingresa por diferencia de concentración entre la raíz y el suelo por efecto osmótico. Donde a mayor cantidad de solutos en la solución del suelo, más se necesita aumentar la concentración interna de azúcares o ácidos orgánicos, para mantener un gradiente hacia adentro de la raíz (Hanson et al). Un aumento de la conductividad de 1 mS/cm en el EPS, implica un aumento en el potencial (estrictamente negativo) de 0.36 bars. Debe recordarse que el agua del suelo a capacidad de campo tendrá el doble de ese potencial y en el punto de marchitez permanente aproximadamente cuatro veces más, o sea 1.44 bars (Zamalvide, J). Esto trae aparejado gasto de energía, que podría haber sido utilizada en el crecimiento. Según la eficiencia con que hagan este proceso, las plantas serán más o menos tolerantes a la salinidad. Por esto algunas plantas sensibles aunque se ven saludables, son más pequeñas (Hanson et al).

El efecto tóxico de ion específico en la salinidad se atribuye principalmente a tres elementos, los cuales son sodio (Na), cloro (Cl) y Boro (B). En este trabajo el efecto tóxico de ion específico es dado por el cloro principalmente y es analizado en el capítulo 2.6.

Los estados iniciales de germinación y las primeras etapas vegetativas son usualmente más sensibles a los contenidos salinos del suelo. Esto ocurre para muchos cultivos incluido el tomate (Hanson et al).

#### **2.8.5) Dinámica de las sales en el suelo por efecto del riego**

El proceso de salinización implica un agregado y concentración de sales en el suelo, mediante el riego u otras formas. La distribución de las sales en el suelo, es influida por el movimiento del agua. Bajo riego por goteo el agua se mueve en dirección radial al emisor. La concentración salina más baja está ubicada justo debajo del emisor, dentro del bulbo formado por este. Cuanto más percolación se produzca, mayor será la zona con baja concentración salina, semejante a la que existe en la proximidad del emisor. La salinidad es mayor a medida que aumenta la distancia radial al emisor dentro del bulbo de riego. Este incremento dentro del bulbo es menor en la dirección vertical que en la horizontal. En el borde del bulbo, se dará la mayor concentración de sales (Hanson et al).

La solución del suelo concentra sus sales respecto al agua de riego, por efecto de la evapotranspiración y una absorción selectiva de los iones por parte de la planta. Se han reportado concentraciones en la solución del suelo de 2 a 20 veces respecto al agua con que se regó (Hanson et al).

El contenido de sales en un momento dado en el suelo es el resultado de dos tendencias, por un lado el aporte externo y su concentración en la solución del suelo por la absorción de agua por las plantas. Por otro lado, la dilución por efecto de la lixiviación por el agua de lluvias o inclusive por la propia agua de riego que generó la salinidad. A esto habría que agregar la absorción de sales por las plantas (Zamalvide, J).

### **2.8.6) Efecto de la salinidad en parámetros productivos**

En tres variedades de lechuga se vio que el aumento de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva de 1 a 1.8 mS/cm, provocaba la disminución del peso seco y cambiaba la composición mineral (Abou-Hadid, A).

En tomate cherry se evaluó distintos parámetros productivos a distintas conductividades (2-5 y 4-10 mS/cm). Se observó que a conductividades bajas la producción era mayor (2.9 vs. 2.2 Kg/planta) y estaba explicado por el mayor peso y tamaño de las frutas. Las frutas de las plantas tratadas con mayor conductividad tenían más peso seco (9.0 vs. 7.8 %), más sólidos solubles (7.4 vs. 6.7° brix), más ácidos titulables (0.70 vs. 0.64 g/100 ml), más  $\text{Na}^+$ , más  $\text{K}^+$ , más  $\text{Cl}^-$ . Las plantas tratadas con menos conductividad absorbieron más agua (100 vs. 87 l/planta), pero tuvieron la misma eficiencia en términos de rendimiento por litro de agua consumida (Conversa, G).

Hartsock et al, encontraron que la conductividad eléctrica en el suelo se relacionaba positivamente con el contenido de Ca ( $r^2=0.59$ ), Mg ( $r^2=0.56$ ) y humedad del suelo ( $r^2=0.72$ ), concluyeron que la conductividad está relacionada a parámetros productivos.

### 3) Materiales y métodos

#### 3.1) Fecha y Ubicación del experimento

Las plantas utilizadas en el experimento fueron sembradas el 24 de febrero del 2002 y fueron transplantadas al sitio experimental el 1 de abril de ese año. Entre el transplante y el inicio del experimento, el cultivo fue fertirrigado y manejado en general como comúnmente se hace en la empresa. El experimento comenzó el 10 de junio del 2002, con la primera fertilización de los tratamientos, la primera cosecha fue el 17 de junio y finalizó el 19 de diciembre del mismo año, con la última cosecha. El ensayo fue en la empresa Sapriner (Sociedad Agrícola Primicias del Norte), ubicada en ruta N° 3 Gral. Artigas km 625.5, Bella Unión, departamento de Artigas.

#### 3.2) Datos climáticos

En el cuadro N° 8 se muestran las horas de sol decádicas correspondientes a los meses que duró el experimento y el promedio histórico 1990-2002. Aquí también se puede ver la desviación de este parámetro climático en el año del experimento, con respecto al promedio decádico mensual del periodo 1990-2002.

Cuadro N° 8.- Horas de sol decádica y mensual del año 2002 y del promedio del periodo 90-02 y diferencia del 2002 con la serie promedio de años.

Década	2002				Promedio periodo 90-02			Diferencia	
	1	2	3	Total	1	2	3	Total	
Abril	72.7	39.6	33.6	145.9	68.6	59.6	55.0	183.2	-37.3
Mayo	87.1	48.4	58.4	193.9	66.6	58.0	62.3	186.9	7.0
Junio	41.9	69.5	67.6	179.0	51.8	46.9	56.3	155.0	24.0
Julio	31.6	75.0	56.2	162.8	50.8	61.3	65.5	177.6	-14.8
Agosto	59.8	59.0	92.3	211.1	64.7	66.9	73.1	204.7	6.4
Septiembre	74.5	53.6	90.5	218.6	64.1	71.0	68.7	203.8	14.8
Octubre	47.7	57.8	64.9	170.4	67.7	65.7	81.6	215.0	-44.6
Noviembre	89.6	79.2	62.0	230.8	83.5	93.8	91.6	268.9	-38.1
Diciembre	60.1	106.4	88.2	254.7	94.9	94.5	100.1	289.5	-34.8
<b>Total</b>	566.0	588.5	613.7	1767.2	612.7	617.7	654.2	1884.6	-117.4

Fuente: Estación Agrometeorología de Bella Unión, Dirección nacional de Meteorología

Analizando el cuadro, se puede decir que para los meses de abril, octubre, noviembre y diciembre las horas de sol estuvieron por debajo de la media del periodo, mientras que los otros meses estuvieron cerca de la media. Las horas de sol totales del periodo abril - diciembre del año 2002, fueron un 6.2 % menos que la media del periodo abril - diciembre de los años 1990 a 2002.



En el cuadro N° 9 se muestran las sumatorias de temperaturas medias diarias mayores a 10° C sumadas en décadas, correspondientes a los meses que duró el experimento y el promedio histórico 1976-2002. Aquí también se puede ver la desviación de este parámetro climático en el año del experimento, con respecto al promedio decádico mensual del periodo 1976-2002.

Cuadro N° 9.- Sumatorias de temperaturas por encima de 10 °C del año 2002 y del promedio del periodo 76-02.

Década	2002				Promedio periodo			76-02	Diferencia
	1	2	3	Total	1	2	3	Total	Total
<b>Abril</b>	108.9	98.1	64.0	271.0	104.7	96.5	88.0	289.2	<b>-18.24</b>
<b>Mayo</b>	75.5	110.2	77.9	263.6	76.1	68.1	55.4	199.6	<b>63.99</b>
<b>Junio</b>	80.0	6.7	30.7	117.4	42.0	41.7	36.1	119.8	<b>-2.40</b>
<b>Julio</b>	24.0	28.8	42.9	95.7	36.5	41.5	45.0	123.0	<b>-27.30</b>
<b>Agosto</b>	28.9	78.5	104.4	211.8	47.8	52.4	73.0	173.1	<b>38.71</b>
<b>Setiembre</b>	32.6	70.9	82.4	185.9	57.5	64.0	76.2	197.7	<b>-11.75</b>
<b>Octubre</b>	117.8	126.4	102.4	346.6	87.0	96.9	121.7	305.6	<b>41.00</b>
<b>Noviembre</b>	97.2	127.0	129.9	354.1	111.9	121.4	126.7	360.0	<b>-5.89</b>
<b>Diciembre</b>	131.3	140.0	154.5	425.80	140.1	148.9	168.0	457.0	<b>-31.17</b>
<b>Total</b>	696.2	786.6	789.1	2,271.9	703.6	731.3	790.0	2,225.0	<b>46.94</b>

Fuente: Departamento Agrícola de Calnu

Observando el cuadro se desprende que los meses de abril, julio y diciembre fueron meses más fríos, mientras que mayo, agosto y octubre mas calidos. El resto de los meses fue similar a la media del periodo. Las sumatorias de temperaturas del periodo abril-diciembre del año 2002 fueron un 2.1 % mayor que la media del periodo abril-diciembre de los años 1990 a 2002.

### 3.3) Análisis químico de aguas

Cuadro N° 10.- Análisis químico de aguas de riego.

pH	mS/cm		meq/ Litro								
	CE	R.A.S.	Cl/HCO3	N-NO3	CO3	HCO3	Cl	Ca	Mg	K	Na
6.8	0.41	0.52	0.03	0.1	0	4.73	0.13	3.5	0.96	0.01	0.77

Fuente: Ing. Agr. José P. Zamalvide

La salinidad del agua de riego es de media a baja. El RAS es muy bajo. El principal componente salino es bicarbonato de calcio.

### 3.4) Tipo y análisis de suelo

El suelo donde se realizó el experimento corresponde a un Argisol Distrito Ocrico, FrAr, ver descripción en anexo 1.

A continuación se presenta el análisis de suelo del lugar del experimento antes y después de realizar el mismo.

Cuadro N° 11.- Análisis químico del suelo del experimento.

	M.O (%)	pH en H <sub>2</sub> O	P Bray 1 (ppm)	K (meq/100 gr.)
21/02/02	3.20	6.7	mayor 63	0.7
15/01/03	2.85	6.3	mayor 63	0.7

### 3.5) Preparación del experimento

El experimento fue instalado bajo un invernadero de 2500 m<sup>2</sup>, con más de 15 años con cultivos de primor (tomate y morrón). Las prácticas de preparación de suelo y ajuste de la fertilización de base fueron las seguidas por la empresa S.A.PRI.NOR, que consistió básicamente en la aplicación de 280 m<sup>3</sup>/ha de compost con base de cáscara de arroz, una pasada de cincel y otra de rotocultivador. Posteriormente se levantó los canteros a una distancia de 1.50 m entre ellos. En los canteros se colocaron 2 líneas de mangeras portagoteros distanciadas a 30 cm. Se realizó 25 días de solarización, seguidamente se retiraron los plásticos y se procedió al trasplante. Se trasplantaron dos filas de plantas por cantero, distanciadas a 30 cm. En la fila la distancia fue de 40 cm entre plantas.

### 3.6) Instalación del experimento

Se instalaron dos sistemas de riego independientes, cada uno con 2 líneas portagoteros por cantero, es decir, 4 líneas en total. El primer sistema era de riego general para todo el experimento, el cual aplicaba solamente agua (al principio del cultivo también realizaba la fertirrigación, antes de que comenzaran los tratamientos), el segundo realizaba el fertirriego, donde aplicaba los fertilizantes con agua a las tres repeticiones de cada tratamiento en una sola operación. Este último sistema entre otros elementos tenía, una motobomba de 2 hp y una llave reguladora con manómetro lo que permitía regular el caudal y la presión de riego. El criterio de riego era seguido por la lectura de dos tensiómetros, colocados en dos lugares y a dos profundidades. La mezcla de fertilizantes para cada tratamiento, se realizó en tanques individuales, donde la concentración en su preparación era 100 veces mayor a la que se aplicaba finalmente al cultivo.

### 3.7) Manejo general del cultivo

La variedad de tomate utilizada en el experimento fue Alma (tipo americano), las plantas utilizadas fueron obtenidas en el vivero de la propia empresa. Las practicas de control de plagas y enfermedades fueron las que se realizan comúnmente en la empresa, basadas en manejo integrado. La conducción de las plantas consistió en el desbrote y aplicación semanal de hormonas (Tomatosa) en los racimos florales. Los deshojes se realizaron periódicamente cada vez que se procedía a "bajar" la planta. Esta última práctica consistía en desatar el tutor del tallo, de forma que la parte superior de esta descienda y quede mas al alcance del operario. Además con esta practica se consigue rearmar el área foliar.

### 3.8) Diseño experimental

El diseño experimental consistió en un arreglo factorial de 3 combinaciones de fuentes de potasio, por 2 niveles de fertilización N-K, en bloques al azar, con tres repeticiones.

Las dimensiones de cada parcela fueron de 3 m de ancho (dos canteros), por 8 m de largo, con un área de 24 m<sup>2</sup> por parcela y 72 m<sup>2</sup> por tratamiento. Las parcelas contaban con 82 plantas en su inicio. Para la instalación del experimento se tomo en cuenta los efectos de borde, laterales, centro y orientación de la caída del techo del invernadero. Para ello se eligieron las filas centrales del invernadero y no se utilizo los últimos 8 metros de cada fila. El experimento se ubicó en bloques al azar, para separar los efectos locales principalmente de suelos, insolación y sanitarios.

### 3.9) Descripción de tratamientos

Se definieron 6 tratamientos, los cuales se describen en forma teórica en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 12.- Descripción de tratamientos.

Tratamiento	Dosis de ClK y NO <sub>3</sub> K	Nivel de N y K*
A	100 % NO <sub>3</sub> K	- 25 %
B	100 % NO <sub>3</sub> K	+ 25 %
C	50 % ClK y 50 % NO <sub>3</sub> K	- 25 %
D	50 % ClK y 50 % NO <sub>3</sub> K	+ 25 %
E	100 % ClK	- 25 %
F	100 % ClK	+ 25 %

\* % menor o mayor al considerado como óptimo para el cultivo.  
El nivel +25 % es 66 % mayor que -25 %.

Los cantidades reales aplicadas por tipo de elemento y por tipo de fertilizante, para todo el periodo en Kg/ha, se detallan en los siguientes cuadros.

Cuadro N° 13.- Cantidades aplicadas en Kg/ha para cada elemento para todo el periodo.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>N total</b>	323,5	490,9	319,2	505,8	313,5	551,2
<b>N-NH<sub>4</sub></b>	40,7	68,3	76,9	148,1	117,9	236,7
<b>N-NO<sub>3</sub></b>	282,8	422,6	242,3	357,7	195,6	314,4
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	330,8	330,8	330,8	330,8	330,8	330,8
<b>K<sub>2</sub>O</b>	581,5	978,8	590,5	970,6	572,6	1051,6
<b>Cl</b>	0,0	0,0	210,1	378,1	429,4	788,7
<b>Ca</b>	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0
<b>Mg</b>	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4
<b>S</b>	36,9	36,9	36,9	36,9	36,9	36,9
<b>B</b>	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3

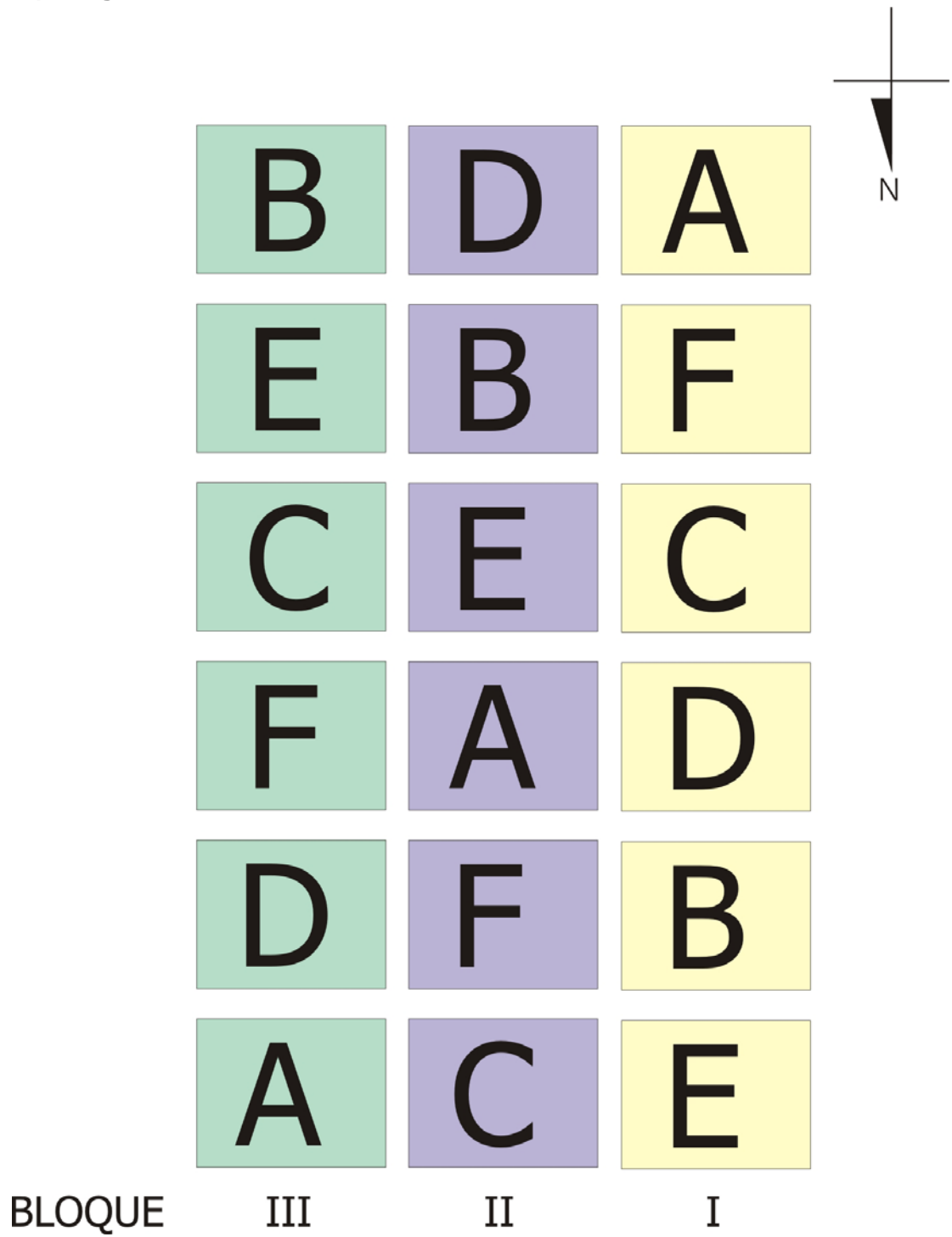
Cuadro N° 14.- Cantidades aplicadas en Kg/ha para cada fertilizante para todo el periodo.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>NO<sub>3</sub>K</b>	1264,1	2127,7	674,8	1014,2	0,0	0,0
<b>NO<sub>3</sub>NH<sub>4</sub></b>	246,9	413,8	465,9	897,6	714,3	1434,6
<b>CLK</b>	0,0	0,0	466,9	840,1	954,3	1752,7
<b>SO<sub>4</sub>Mg</b>	284,0	284,0	284,0	284,0	284,0	284,0
<b>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ca</b>	321,1	321,1	321,1	321,1	321,1	321,1
<b>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> lts</b>	43,1	43,1	43,1	43,1	43,1	43,1
<b>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> lts</b>	284,0	284,0	284,0	284,0	284,0	284,0
<b>HNO<sub>3</sub> lts</b>	240,8	240,8	240,8	240,8	240,8	240,8

Las cantidades aplicadas antes detalladas fueron fraccionadas en 57 aplicaciones. Estas aplicaciones fueron modificadas en su composición tres veces en todo el periodo, para ver en detalle, ir al anexo 5.

Para mantener incambiada la relación N/K, se utilizo nitrato de amonio para complementar los tratamientos con CLK.

### 3.9.1) Diagrama del experimento



### **3.10) Evaluaciones realizadas**

Se evaluó el rendimiento, número de frutas y muerte de plantas por tratamiento. Para evaluar el rendimiento, se separó el mismo en categorías comercial y descarte. Las frutas consideradas descarte eran las que tenían un tamaño menor a 5 cm de diámetro o tenían enfermedades, manchas o daños en la piel, etc. El momento de cosecha fue cuando la fruta alcanzó el color “blanco verdoso”.

Se realizaron 4 conteos de plantas en el transcurso del experimento (ver anexo 2). El experimento duró 7 meses, al no tener datos de todos los meses se realizó una regresión lineal entre los 4 conteos, de esta manera se pudo estimar la variable presencia de plantas mes a mes.

Se midió la conductividad de la solución del suelo. Para la medición de la conductividad se instalaron 6 “extractores de solución de suelo” a 20 cm de profundidad en cada tratamiento. Estos recolectores están compuestos por un bulbo de cerámica en un extremo y un tubo tapado en el otro. La parte de cerámica queda situada en la zona radicular, en donde por efecto de vacío que se produce en el tubo, se genera una fuerza de succión, que hace ingresar el agua de la solución del suelo hacia dentro del recolector. Las muestras de solución de solución de suelo fueron sacadas 4 veces por mes aproximadamente (ver anexo 4) y se le midió la conductividad eléctrica mediante un conductímetro.

Además se realizaron medidas de conductividad dentro de los tanques de cada tratamiento después de realizar la mezcla de fertilizantes y antes de realizar el fertirriego para evitar errores, los datos son presentados en el anexo 3.

### **3.11) Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó con el programa MSTAT, en donde se realizaron análisis de varianza para las variables estudiadas, en donde las fuentes de variación fueron:

- Mes
- Bloque
- Factor A (tipo de fuente potásica)
- Factor B (nivel de nitrógeno y potasio)
- Interacción Factor A-Factor B
- Interacción Mes-Factor A
- Interacción Mes-Factor B
- Interacción Mes-Factor B-Factor A
- Error

En este trabajo se presentan los datos de los anova sin corregir por covarianza con número de plantas, porque cuando se analizo de esta forma, no se observo mejora de la significancia estadística (ver anexo 6).

## 4) Resultados y discusión

### 4.1) Rendimientos acumulados por periodos de cosecha

#### 4.1.1) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para todo el periodo (junio-diciembre)

En el cuadro N° 15 se observan los rendimientos total promedio de los distintos tratamientos, los promedios de cada uno de los factores estudiados y algunos resultados del ANOVA.

Cuadro N° 15.- Rendimientos totales acumulados en todo el ciclo del cultivo (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + ClK	ClK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	18.27	17.73	17.52	17.84
<b>N-K Alto</b>	17.71	18.55	19.28	18.51
<b>Prom</b>	17.99	18.14	18.40	18.17

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.3375	
<b>Dosis</b>	2.5840	0.1124
<b>Interacción</b>	2.5737	0.0835
<b>CV (%)</b>	12.95	

- ClK                                    cloruro de potasio
- NO<sub>3</sub>K                                    nitrato de potasio
- NO<sub>3</sub>K + ClK                            50 % de Nitrato de potasio y 50 % de Cloruro de potasio
- N-K alto N-K bajo                    nitrógeno y potasio nivel alto o bajo
- Pr    nivel de significación
- CV (%)                                    coeficiente de variación
- Prom                                        promedio

En el cuadro se puede observar que no existen diferencias significativas para rendimientos totales con distintas fuentes potásicas. Existe una tendencia (al 11%) de mayor producción total a dosis más altas de N-K. También habría una interacción (significativa al 8.3%), expresada en una mayor producción con dosis N-K bajas, cuando la fuente es nitrato de potasio y un efecto inverso para las otras fuentes.

Se desprende del cuadro que el uso de cloruro de potasio en sustitución del nitrato de potasio, en las condiciones de este experimento, no hizo descender el rendimiento total anual. En este caso no se detectó un efecto negativo por el agregado de ión cloruro.

Hay que considerar que en este experimento se ajustó el nitrógeno (con nitrato de amonio) cuando se utilizó cloruro de potasio, en una cantidad igual a la contenida en



el nitrato de potasio. Este ajuste es necesario realizarlo, de lo contrario estaríamos aplicando menos nitrógeno. De esta forma se puede cometer el error de atribuir efectos negativos al cloruro de potasio, cuando en realidad podría existir una deficiencia de nitrógeno, dada por un bajo contenido de este o una mala relación nitrógeno/potasio.

También debe considerarse que al corregir el nitrógeno con nitrato de amonio se afecta las fuentes de este nutriente, al aumentar la proporción de amonio/nitrato. En realidad al cambiar la fuente de potasio en alguna medida también se está cambiando la fuente de nitrógeno. Tampoco se detectó que ese aumento de amonio afectara negativamente el rendimiento total anual.

La interacción observada podría ser explicada por un posible efecto positivo del cloruro que estaría bloqueando la absorción de nitrato, suponiendo que este pudiera haber sido excesivo en su contenido dentro de la planta. La posibilidad de excesos de nitrógeno suele darse en condiciones de alta nitrificación de la materia orgánica del suelo.

También cabría la posibilidad de que en determinados momentos el mayor aporte de amonio que conlleva la fertilización con CIK, tuviera un efecto positivo en la planta, ya sea, por menor gasto energético o un mejor balance entre aniones y cationes.

Con respecto al posible mayor rendimiento a dosis altas (11 %), no se distingue si la respuesta sería por nitrógeno, potasio o la combinación de ambos. Una hipótesis planteada es que la respuesta sea atribuida al potasio. Observando el cuadro, se ve que siempre para dosis bajas, para cualquier fuente los rendimientos fueron menores que cuando se utilizó cloruro de potasio a dosis alta. Esto podría explicarse por la mayor cantidad de potasio, pues si bien hay más nitrógeno en la solución del suelo, este no entraría a la planta, por la competencia con cloro explicada anteriormente.

Se encontró que el aumento en el número de frutos sería el principal componente del rendimiento que explicaría las respuestas a dosis N-K y la interacción (ver anexo 6). Esta diferencia entre número de frutos, serían principalmente en la fracción descarte.

#### 4.1.2) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento comercial para todo el periodo (junio-diciembre)

Cuadro N° 16.- Rendimientos comerciales acumulados en todo el ciclo del cultivo (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	14.86	14.55	14.41	14.61
<b>N-K Alto</b>	14.46	15.03	15.77	15.09
<b>Prom</b>	14.66	14.79	15.09	14.83

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.4250	
<b>Dosis</b>	1.4792	0.2280
<b>Interacción</b>	1.6622	0.1971
<b>CV (%)</b>	14.90	

Los resultados muestran una tendencia similar a los de rendimiento total. La diferencia es que para rendimiento comercial, las tendencias son menos marcadas que las del cuadro anterior, dado por su menor nivel de significancia con mayor CV y menor diferencia (en términos relativos) entre valores. Esto está explicado principalmente por que la dosis N-K y la interacción, afectaron en mayor magnitud a la número de frutos de la fracción descarte, que a la de frutos comercial.

#### 4.2) Rendimientos por periodos de meses agrupados

##### 4.2.1) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para el periodo inicial (junio-agosto)

Cuadro N° 17.- Rendimientos totales acumulados para junio, julio y agosto (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	7.60	7.29	7.46	7.45
<b>N-K Alto</b>	7.97	7.72	7.75	7.81
<b>Prom</b>	7.78	7.50	7.60	7.63

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.8531	
<b>Dosis</b>	4.1457	0.0507
<b>Interacción</b>	0.0536	
<b>CV (%)</b>	8.58	

Se observa un efecto positivo significativo (al 5%) de la dosis N-K en el rendimiento. La diferencia entre fuentes y la interacción no son estadísticamente significativas.

Aquí se puede apreciar una respuesta a dosis N-K que en otras etapas posteriores del cultivo no son tan apreciables. Esto coincide con la bibliografía, que cita menor eficiencia de absorción de nutrientes en el periodo invernal, por las bajas temperaturas que se registran en el suelo. Esto causaría una menor actividad enzimática

de las raíces y un menor movimiento de los nutrientes en el suelo, explicando la respuesta a dosis N-K que se observa en este cuadro, pues aumenta la concentración de nutrientes en la solución de suelo. Es frecuente a nivel de producción encontrar deficiencias de nutrientes en épocas frías, que desaparecen al aumentar las temperaturas sin cambios en la fertilización.

En este periodo existe también una menor transpiración por parte de la planta, disminuyendo la absorción de agua y consecuentemente la absorción de nutrientes, por esto se concentra más los nutrientes en la solución del suelo. Por otra parte, se realizaron mayores fertilizaciones durante el invierno (mayor frecuencia y cantidad).

Un elemento a considerar en relación a esto, son las mayores conductividades eléctricas registradas en el experimento durante el periodo invernal, según cuadro N° 18. En el cuadro se observa, que para agosto la conductividad promedio de la solución de suelo era de 2.66. A esa concentración existió respuesta a la dosis alta N-K, o sea, la respuesta en concentración podría ser igual o mayor a la que genere 2.66 mS/cm. Diferente es lo que sucede en el mes de setiembre, donde no existe respuesta a dosis, o sea, que podrían haber concentraciones de nutrientes que generen conductividades igual o incluso menores a 2.64 y suplir los requerimientos, esto sigue ocurriendo en los meses sucesivos.

Cuadro N° 18.- Conductividad de la solución del suelo promedio para los tratamientos desde agosto hasta diciembre.

Mes	C.E. (mS/cm)
Agosto	2.66
Setiembre	2.64
Octubre	2.07
Noviembre	1.78
Diciembre	2.03

C.E.: conductividad promedio de la solución del suelo.

#### 4.2.2) Efecto de fuentes potásicas y dosis en el rendimiento comercial para el periodo inicial (junio-agosto)

Cuadro N° 19.- Rendimientos comerciales acumulados para junio, julio y agosto (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	7.01	6.71	6.86	6.86
<b>N-K Alto</b>	7.34	7.05	7.12	7.17
<b>Prom</b>	7.18	6.88	6.99	7.02

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	1.0935	0.348
<b>Dosis</b>	3.4264	0.074
<b>Interacción</b>	0.0207	
<b>CV (%)</b>	8.75	

Para rendimiento comercial la tendencia es similar a rendimiento total. Se observa una significancia (7 %) entre dosis. Ni la diferencia entre fuentes ni la interacción es significativa.

#### 4.2.3) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para el periodo intermedio (setiembre-octubre)

Cuadro N° 20.- Rendimientos totales acumulados para setiembre y octubre (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	6.44	6.32	6.41	6.39
<b>N-K Alto</b>	6.18	6.79	6.49	6.49
<b>Prom</b>	6.31	6.56	6.45	6.44

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	1.0099	0.3821
<b>Dosis</b>	0.4682	
<b>Interacción</b>	2.2171	0.1350
<b>CV (%)</b>	8.75	

Los resultados muestran que no hay diferencias significativas para dosis y fuente. Esto indica que en este periodo, con la dosis N-K baja del experimento ya se estarían cubriendo los requerimientos del cultivo, sin importar la fuente.

Aquí la interacción muestra una tendencia (al 13%), donde las fuentes con CIK tienen mayor producción si aumenta la dosis N-K, y se ve un efecto inverso para la otra fuente.

En este periodo no se observa una respuesta a la dosis alta como en la etapa anterior, debida posiblemente a las mayores temperaturas registradas. También podría haber un efecto negativo del nitrato, cuando está a dosis altas, dando lugar a la interacción antes descrita.

#### 4.2.4) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento comercial para el periodo intermedio (setiembre-octubre)

Cuadro N° 21.- Rendimientos comercial acumulados para setiembre y octubre (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	4.79	4.71	4.79	4.77
<b>N-K Alto</b>	4.49	4.96	4.67	4.71
<b>Prom</b>	4.64	4.84	4.73	4.74

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.6888	
<b>Dosis</b>	0.1696	
<b>Interacción</b>	1.3913	0.2718
<b>CV (%)</b>	6.59	

Para rendimiento comercial no hay diferencias significativas ni en dosis ni en tipo de fuente, los resultados son muy similares al cuadro anterior.

#### 4.2.5) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para el periodo final (noviembre-diciembre)

Cuadro N° 22.- Rendimientos totales acumulados para noviembre y diciembre (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	4.23	4.12	3.65	3.99
<b>N-K Alto</b>	3.56	4.04	5.04	4.21
<b>Prom</b>	3.89	4.08	4.35	4.10

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.5680	
<b>Dosis</b>	0.3711	
<b>Interacción</b>	3.0236	0.0712
<b>CV (%)</b>	25.74	

No se ven diferencias significativas para fuente y dosis. La interacción es similar al periodo anterior, pero tiene una mayor significancia (7 %). Cuando se usa como fuente NO<sub>3</sub>K, es mejor aplicar dosis bajas de N-K, y cuando la fuente contiene CIK, la respuesta es mejor a dosis altas de N-K. Para este período los rendimientos fueron bajos y existió un alto error experimental por muerte de plantas, reflejado en un alto CV.

#### 4.2.6) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento comercial para el periodo final (noviembre-diciembre)

Cuadro N° 23.- Rendimientos comercial acumulados para noviembre y diciembre (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	3.05	3.12	2.77	2.98
<b>N-K Alto</b>	2.63	3.01	3.98	3.21
<b>Prom</b>	2.84	3.07	3.37	3.09

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.8775	
<b>Dosis</b>	0.4758	
<b>Interacción</b>	2.3258	0.1235
<b>CV (%)</b>	31.90	

En este cuadro se observan resultados similares a los del cuadro anterior con mayor coeficiente de variación y la interacción tiene menor significancia.

### 4.3) Rendimientos mensuales

En el cuadro N° 24 se presenta el ANOVA general conjunto de las cosechas individuales de todos los meses para rendimiento total.

Cuadro N° 24.- Anova general para rendimiento total.

Fuente de variación	Valor F	Pr
Tipo de Fuente	0.3375	
Dosis	2.5840	0.1124
Interacción Dosis N-K x Fuente	2.5737	0.0835
Bloque	11.9863	0.0000
Mes	245.9340	0.0000
Interacción Mes x Fuente	0.6576	
Interacción Mes x Dosis N-K	0.5336	
Interacción Mes x Dosis N-K x Fuente	1.4519	0.1640

El diseño en bloques y la agrupación de datos por meses fue adecuado para tener en cuenta las variaciones de potencial productivo dentro del invernadero y las relacionadas a distintas condiciones climáticas. Las fuentes de variación tipo de fuente y dosis ya fueron analizadas en el punto 4.1.1. Las interacción dosis x fuente es la única significativa y fue analizada en el punto 4.1.1, mientras que las demás no fueron analizadas por no ser significativas.

#### 4.3.1) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para junio

Cuadro N° 25.- Rendimientos total de junio (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	1.00	0.91	0.93	0.95
<b>N-K Alto</b>	1.02	1.01	1.00	1.01
<b>Prom</b>	1.01	0.96	0.97	0.98

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.3671	
<b>Dosis</b>	1.4815	0.2515
<b>Interacción</b>	0.1570	
<b>CV (%)</b>	11.42	

No hay diferencias significativas para ningún parámetro, explicado posiblemente por el poco efecto de los tratamientos, ya que se iniciaron en este mes solo 7 días antes de la primera cosecha. Los tratamientos podrían eventualmente afectar solamente en peso por fruto. Los rendimientos son bajos, probablemente porque se comenzó a cosechar el 17 de junio, dando como resultado solo 13 días de cosecha.

### 4.3.2) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para julio

Cuadro N° 26.- Rendimientos total de julio (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	4.38	4.24	4.29	4.30
<b>N-K Alto</b>	4.72	4.42	4.47	4.53
<b>Prom</b>	4.55	4.33	4.38	4.41

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.6336	
<b>Dosis</b>	1.9833	0.1894
<b>Interacción</b>	0.1007	
<b>CV (%)</b>	7.92	

No hay diferencias significativas para fuente, solo se ve una tendencia (al 19 %) de aumento en el rendimiento a dosis mayores, que en términos relativos es superior al trimestre junio-julio-agosto, siendo este significativo al 5 %. Probablemente esto ocurre por la menor cantidad de datos que se registraron en julio, con respecto al trimestre, otorgándole al último mayor confianza estadística en el ANOVA.

### 4.3.3) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para agosto

Cuadro N° 27.- Rendimientos total de agosto (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	2.22	2.14	2.24	2.20
<b>N-K Alto</b>	2.23	2.29	2.27	2.27
<b>Prom</b>	2.23	2.22	2.26	2.24

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.3032	
<b>Dosis</b>	2.4918	0.1455
<b>Interacción</b>	1.1244	0.3627
<b>CV (%)</b>	3.99	

Se ve una tendencia (al 14 %) de mayor producción con dosis altas de N-K. Esta diferencia en términos relativos, es menor a la observada en el mes de julio, pero es mas significativa que en dicho mes, probablemente por el menor coeficiente de variación (3.99). Aquí observamos que comienza a declinar el efecto de la mayor dosis N-K, la que desaparece en los meses sucesivos, para darle lugar al efecto interacción. Las diferencias entre tipos de fuentes no son estadísticamente significativas.

#### 4.3.4) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para setiembre

Cuadro N° 28.- Rendimientos total de setiembre (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	2.30	2.25	2.28	2.28
<b>N-K Alto</b>	2.26	2.39	2.39	2.35
<b>Prom</b>	2.28	2.32	2.33	2.31

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.2514	
<b>Dosis</b>	1.1907	0.3008
<b>Interacción</b>	0.7810	
<b>CV (%)</b>	5.85	

No hay diferencias significativas en ningún parámetro. Este mes es de transición, por no existir efecto de dosis N-K.

#### 4.3.5) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para octubre

Cuadro N° 29.- Rendimientos total de octubre (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	4.14	4.07	4.14	4.11
<b>N-K Alto</b>	3.92	4.40	4.10	4.14
<b>Prom</b>	4.03	4.24	4.12	4.13

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.8979	
<b>Dosis</b>	0.0464	
<b>Interacción</b>	1.6476	0.2407
<b>CV (%)</b>	6.49	

Se observa que el factor fuente y dosis N-K no son significativas, mientras que la interacción explicada en cuadros anteriores comienza a aumentar su significación.



#### 4.3.6) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para noviembre

Cuadro N° 30.- Rendimientos total de noviembre (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	2.38	2.54	2.23	2.38
<b>N-K Alto</b>	2.18	2.34	2.45	2.32
<b>Prom</b>	2.28	2.44	2.34	2.35

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.8313	
<b>Dosis</b>	0.3226	
<b>Interacción</b>	1.9346	0.1949
<b>CV (%)</b>	9.12	

Los resultados observados en este mes son similares al anterior.

#### 4.3.7) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para diciembre

Cuadro N° 31.- Rendimientos total de diciembre (Kg/m<sup>2</sup>) y resumen del ANOVA correspondiente.

	NO <sub>3</sub> K	NO <sub>3</sub> K + CIK	CIK	Prom
<b>N-K Bajo</b>	1.85	1.58	1.43	1.62
<b>N-K Alto</b>	1.38	1.70	2.59	1.89
<b>Prom</b>	1.61	1.64	2.01	1.75

	Valor F	Pr
<b>Fuente</b>	0.5705	
<b>Dosis</b>	0.6500	
<b>Interacción</b>	2.0118	0.1844
<b>CV (%)</b>	40.80	

Aquí se ven diferencias importantes tanto en fuente como en dosis (valores), pero estas no son estadísticamente diferentes, dada la gran muerte de plantas (por cancro bacteriano), que causo gran variación en los datos (40.8 % Coeficiente de variación). Sin embargo, aunque el coeficiente de variación es alto la interacción tiene una tendencia al 18.4 %.

Resumiendo del análisis mes a mes, se observa que los niveles de significancia son en general menores a los registrados en otros análisis, tanto de meses agrupados como de todo el periodo, explicado probablemente por la menor cantidad de datos. De todas formas se puede decir que en los primeros meses existe una tendencia a mayor respuesta a dosis altas N-K, que poco a poco van desapareciendo hasta agosto. Al avanzar el cultivo, empieza a notarse un aumento en la significancia de la interacción, la que se acentúa a medida que nos aproximamos a diciembre.

#### 4.4) Discusión General

En términos generales las tres fuentes potásicas tuvieron un comportamiento similar. Esto lleva a considerar al cloruro de potasio como una herramienta importante para el fertirriego. Por un lado facilita el manejo, pudiendo aplicar potasio sin la necesidad de aplicar nitrógeno. Esto puede ser especialmente útil en condiciones de baja luminosidad y temperatura (baja fotosíntesis neta), con alto aporte de nitrógeno del suelo. En esas condiciones es donde la planta tiene pocos metabolitos para la parte reproductiva, por la fuerte competencia de la parte vegetativa, dando como resultado bajo cuajado de frutos. Por otra parte, el precio de esta fuente es sensiblemente menor que el nitrato de potasio.

Con relación a la fuente de potasio para distintos momentos, según los resultados observados, es más beneficioso utilizar el nitrato de potasio en los meses más fríos ver cuadro de 4.2.1 y el cloruro de potasio en los meses más calidos 4.2.3 y 4.2.5.

De acuerdo a la bibliografía, podría haber efectos negativos o positivos en el rendimiento por la inclusión de cloro en la fertilización. Los efectos negativos estarían explicados básicamente por el aumento de la conductividad de la solución del suelo, reduciendo la capacidad de absorber agua por parte de la planta o por toxicidad específica de este elemento. Entre los efectos positivos, podríamos citar la competencia del cloro con el nitrato en la absorción, cuando existe exceso de este último enlenteciendo su entrada a la planta, fenómeno muy importante en condiciones de baja temperatura y luminosidad, como fue explicado en el párrafo anterior. No consideramos el efecto positivo que tiene cloro como micro-nutriente, ya que la planta con muy pequeñas dosis de este ya alcanza sus requerimientos.

Los resultados muestran que no habría efecto negativo del Cloro, contradiciendo alguna bibliografía consultada. Hay que tener en cuenta que esos experimentos fueron realizados en otras condiciones, posiblemente con fertilizaciones más concentradas y/o riegos poco frecuentes y/o aguas con altos contenidos salinos. En este experimento en cambio, las condiciones fueron fertilizaciones muy fraccionadas (2 por semana aproximadamente), bajo la técnica de fertirriego, riego frecuente y localizado, que mantenía un contenido de agua siempre cercano a la capacidad de campo. El agua de riego utilizada era de bajo contenido salino y muy bajo contenido de cloro (ver cuadro N° 10). Otro factor es el estado fenológico avanzado en el que se realizó el experimento. Muchos cultivos son más sensibles en etapas iniciales, deprimiendo su crecimiento, cuando se desarrollan en suelos bajo condiciones de alta conductividad eléctrica, en este caso generada por el cloro. Del punto de vista agronómico para tomate no es importante este punto, porque son muy bajos los requerimientos de potasio en etapas iniciales.

Con respecto a las medidas de conductividad de la solución del suelo, los resultados obtenidos son muy variables (ver anexo 4). Esta variabilidad, parece ser explicada por las características propias de este método, que puede registrar gran error de muestreo, explicado por las grandes variaciones entre mediciones de un mismo tratamiento, incluso mucho mayores que las producidas entre los mismos. Este error está determinado por la poca cantidad de puntos de muestreo realizados (1 por tratamiento). Es casi imposible en esta metodología colocar un gran número de repeticiones (extractores) para caracterizar un suelo. Un procedimiento que teóricamente permitiría disminuir la variabilidad, sería colocar el tubo de extracción de solución de suelo en la zona radicular. También debería ser ubicado a la misma distancia del gotero, dentro del bulbo de riego, para que todos los tubos estén en iguales condiciones, pues en el bulbo de riego la concentración aumenta desde el centro a la periferia. Todo esto no deja de ser algo teórico, ya que las condiciones edáficas hacen variar la forma del bulbo, pudiendo existir concentraciones distintas, aun estando ubicados los tubos equidistantes de un mismo gotero y a una misma profundidad, así como existir variaciones entre goteros en los volúmenes regados.

Para este trabajo la información proporcionada por este método, fue útil para la realización de comparaciones entre meses, no así entre tratamientos. También los resultados obtenidos, dieron una idea de conductividades medias de suelo y de esta forma se pudo determinar, que los niveles observados eran cercanos a los manejados por la bibliografía. Un procedimiento mas preciso seria la utilización del extracto de pasta saturada, este tiene como ventaja la mayor cantidad de puntos de muestreo a un menor costo, anulando la variabilidad dentro de cada tratamiento.

## 5) Conclusiones

1. No se encontraron diferencias significativas en rendimiento, para todo el periodo de cosecha, entre las distintas fuentes potasicas, para las condiciones de este experimento.
2. No parece haber un efecto negativo por el agregado de cloro a pesar de las altas dosis de cloruro de potasio utilizadas. Las causas de esto pueden ser el alto fraccionamiento de la fertilización, la alta frecuencia de riego y el bajo contenido salino y de cloro del agua.
3. Se encontró, para el total del periodo, en cosecha total, una tendencia al 11 % de respuesta para dosis alta de fertilización N-K estudiada.
4. En los meses más fríos se encontró respuesta significativa en rendimiento total a la dosis alta N-K y una tendencia de mejor comportamiento del nitrato de potasio en esta etapa.
5. En primavera no hay respuesta a fuente ni a dosis. Aparece una interacción, expresada como mayor producción a dosis N-K bajas, cuando la fuente es nitrato de potasio y un efecto inverso para las fuentes con cloruro. Habría una tendencia de mejor comportamiento del cloruro de potasio en esta etapa.
6. Las diferencias en rendimiento fueron explicadas principalmente por el componente número de frutos y no por el peso medio de frutos.
7. De acuerdo a los resultados obtenidos se podría incluir el cloruro de potasio en forma parcial o total dentro del esquema de fertirriego. Esto hace bajar los costos y permite aplicar potasio sin aplicar nitrógeno.
8. No se vio efecto negativo en la sustitución de parte del nitrato por amonio en los tratamientos con cloruro de potasio.
9. Las medidas de conductividad de la solución de suelo muestreada con extractores in situ no fueron adecuadas para medir diferencias entre tratamientos. Esto se debió a altos errores de muestreo. A pesar de lo anterior se constato que las CE encontradas estaban en los rangos recomendados por la bibliografía. También se encontró que en los meses más fríos, las mediciones de conductividad eléctrica en la solución del suelo eran mayores que la de los meses posteriores, mas calidos.

## 6) Resumen

El potasio es uno de los elementos esenciales para alcanzar altos niveles de producción y calidad en tomate bajo invernadero, utilizándose altas dosis, del orden de 1000 kg/há. El fertilizante potásico mayormente utilizado en esas condiciones de producción es el nitrato de potasio. Hay otras alternativas posibles, entre ellas el cloruro de potasio que puede presentar ventajas económicas y ambientales, pero eventualmente puede mostrar toxicidad por cloruros. Este trabajo tiene como objetivo evaluar el cloruro de potasio como sustituto del nitrato de potasio en tomate de ciclo largo, en invernadero, en la zona de B. Unión. Los fertilizantes se aplicaron como fertirriego fraccionados en 57 aplicaciones. Se evaluaron 6 tratamientos que consistieron en 3 combinaciones de fuentes potásicas (100% Nitrato, 100% Cloruro y 50 % de cada uno) por 2 niveles de dosis de nitrógeno más potasio en relación constante. En cada tratamiento se midió, desde mayo a diciembre, para las categorías comercial y descarte, el rendimiento y número de frutos. También se evaluó la muerte de plantas y la conductividad eléctrica muestras la solución del suelo. Considerando la totalidad del período de cosecha no se encontraron diferencias significativas entre las distintas combinaciones de fuentes y dosis para ninguno de los parámetros evaluados. En la etapa invernal se observó respuesta positiva en rendimiento a la dosis alta de fertilización. En la etapa primaveral se encontró una interacción significativa, con mayor producción a dosis N-K bajas, cuando la fuente es nitrato de potasio y un efecto inverso para las otras combinaciones de fuentes. Las diferencias encontradas en rendimiento, fueron atribuidas principalmente al componente número de frutos y no al peso medio de frutos. La conductividades eléctricas de la solución del suelo, con método utilizado de extractores con vacío, no fue adecuado para medir diferencias entre tratamientos por causa del alto error de muestreo observado.

Palabras Claves: Cloruro de potasio, nitrato de potasio, tomate, salinidad, fertirriego, cloro, solución de suelo, invernadero.

## 7) Bibliografía

1. Abou-Hadid, A.F. Abd-Elmoniem E.M., El-Shinawy, M.Z. Abou-Elsoud, M. 1999. *Acta Horticulturae*. Electrical conductivity effect on growth and mineral composition of lettuce plants in hydroponic system. *Strategies for Market Oriented Greenhouse Production*. N° 434. pp 20-28
2. Barber, A. 1985. Potassium Availability at the soil-root interface and factor influencing potassium uptake. *Potassium in agriculture*. 2a ed. Wisconsin, USA. pp 309-324.
3. Barber, A. Walker, J. Vasey, E. 1962. Principles of ion movement through from the soil to the plant root. En J. Neale (ed.). *Trans. J. Meet. Comm. 4, 5 int. Society of soil science*. Soil Bureau, P.B., Lower Hutt, New Zealand. pp 121-124.
4. Bennett, F. *Nutrient Deficiencies & Toxicities In Crop Plants*. 1993. Texas, USA.
5. Beringer, H y Nothdurft F. 1985. Effects of potassium on plant and cellular structures. *Potassium in agriculture*. 2a ed. Wisconsin, USA. pp 351-367.
6. Bould, C. Hewitt, E. 1983. *Diagnosis of Mineral Disorders in Plants*. Londres, UK. pp 121-128
7. Bowman, W. Strain, B. 1987. Interaction between CO<sub>2</sub> enrichment and salinity stress in the C<sub>4</sub> nonhalophyte *Andropogon glomeratus* (Walter) bsp. *Plant Cell Environ* 10:267-270.
8. Broyer, T. Carlton, A. Johnson, C. Stout, P. 1954. Chlorine A Micronutrient Element for Higher Plants, *Plant Physiology*. 29:526-532.
9. Clarkson, D. Hanson, J. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Annual review. Plant physiology*. 31: pp 239-298.
10. Conversa, G. Santamaría, P. Carofiglio, O. Gonnella, M. Parente, A. 2001. Response of cherry tomato to the electrical conductivity of the nutrient solution. *Acta Horticulturae*. *International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment*. N° 609. pp 74-85
11. Fixen, P. 1993. Crops responses to chloride. *Advances in Agronomy*. 50: 107-150.
12. Follet, R. Murphy, L. Donahue, R. 1981. *Fertilizer and soil amendments*. Prentice-Hall, Engle-woods Cliffs, NJ. pp 123-145
13. Freney, J. Delwiche, C. Johnson, C. 1959. The effect of chlorine on the free amino acids of cabbage and cauliflower plants. *Aust. Journal of Biology Science*. 12, 160-166.
14. Glass, A. 1983. Regulation of ion transport. *Annual review plant physiology*. 34: pp 311-326.
15. Greenway, H. Munns, R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 31: 837.
16. Hanson, B. Grattan, S. Fulton, A. 1999. *Agricultural salinity and drainage*. California. USA.

17. Hartsock, N. Mueller, T. Thomas, G. Barnhisel, R. Wells, K. Shearer, S. 2000. Soil Electrical Conductivity Variability. In. P.C. Robert et al. (ed.) Proc. 5th international conference on precision Agriculture. ASA Misc. Publ., ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
18. Hernandez, J. Casanova, O. Zamalvide, J.1988. Capacidad de suministro de potasio en suelos del Uruguay. Boletín de investigación N° 19. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.
19. Huber, S. 1985. Role of potassium in photosynthesis and respiration. . Potassium in agriculture. 2a ed. Wisconsin, USA. pp 369-396.
20. Jackson, T McBride, R.1986.Yield and quality of potatoes improved with potassium and chloride fertilization. American society of agronomy. Special bulletin N° 2.
21. Jacoby B. 1999. Mechanisms Involved in Salt Tolerance of Plants. En: Pessaraki, M. Handbook of Plant and Crop Stress. 2a ed. Arizona, USA.
22. Jeschke, W. Wolf, O.1988. Effect of NaCl salinity on growth, development, ion distribution, and ion translocation in castor bean (*Ricinus communis* L.). Journal of Plant Physiology 132:45.
23. Johnson, C. Stout, P. Broyer, T. Carlton, A. 1957. Comparative chlorine requirements of different plant species. Plant Soil 8, 337-353.
24. Kayne, F. Reuben, J. 1970. Thallium-205 nuclear magnetic resonance as a probe for studying metal ion binding to biological macromolecules. Estimate of the distance between the monovalent and divalent activators of pyruvate kinase. Journal American chemistry society. 92: pp 220-222.
25. Kirschbaum, D. Magel, H. Quipildor, L. González, J. Bórquez, A. Correa, M. Imas, P.2002. Especial Intensivos. Fertilizar. Año 7.vol 5. Tucumán, Argentina.
26. Kochian, L. Lucas, W. 1982. Potassium transport in corn roots: I. Resolution of kinetics into a saturable and linear component. Plant Physiology. 70: pp 1723-1731.
27. Leonard, R. 1985. Absorption of potassium into root cells. Potassium in agriculture. 2<sup>nd</sup> edition. Wisconsin, USA. pp 327-335.
28. Leopold, C. Willing, R. 1984. Evidence of toxicity effects of salt membranes. En: Staples, R. Toenniessen, H. Salinity Tolerance in Plants. New York, USA. pp 134-157
29. Loppert, H. 1983. Energy coupling for membrane hiperpolarization in *lemna*: respiration rate, ATP levels and membrane potential at low oxygen concentrations. Planta 159: pp 329-335.
30. Malek, T. Baker, D. 1978. Effect of fusicoccin on proton co-transport of sugars in the phloem loading of *Ricinus communis*. Plant Sci Lett 11:233-239.
31. Marschner, H. Romheld, V. 1983. *In vivo* measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: Effects of plant species and nitrogen source. Z. Pflanzenphysiol. 111: pp 241-251.
32. Martinez, E. Garcia, M. 1993. Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo. Compendio de horticultura N° 3. Barcelona, España.

33. Mass, E. 1986. Physiological response of plants to chloride. American society of agronomy. Special bulletin N° 2.
34. Meiri, A. Kamburoff, J. Poljakoff-Mayber, A. 1971. Response of beans to sodium chloride and sodium sulfate salinization. Annual Botany 35:837.
35. Mengel, K. 1985. Potassium movement within plants and its importance in assimilate transport. Potassium in agriculture. 2a ed. Wisconsin, USA. pp 397-411.
36. Mennen, H. Jacoby B. Marschner, H. 1990. Is sodium proton antiport ubiquitous in plant cells?. Journal of Plant Physiology. 137:180.
37. Miller, N. 1913. Journal of Scottish Meteorology Society. 16, 141-58.
38. Mizrahi, Y. Taleinsnik, E. Kagan-zur, V. Zohar, Y. Offenbach, R. Matan, E. Golan, R. 1988. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. Journal of American Society of horticulturae Science. 113:2. pp 202-205.
39. Mortvedt, J. Cox, F. Shuman, L. Welch, R. 1991. Micronutrients in Agriculture. 2a ed. Wisconsin, USA.
40. Munson, R. 1979. Fertilizers improve crop quality, too! p. 1-4. In Agro-knowledge 4. potash and phosphate institute, Atlanta.
41. Petraglia, T. Poole, R. 1980. ATP levels and their effects on plasmalemma in influxes of potassium chloride in red beet. Plant Physiology. 65: pp 969-972.
42. Reisenauer, H. 1964. Minerals nutrients in soil solution. Environmental biology. Bethesda, MD. pp 505-508.
43. Russell, E. Richards E. 1919. Journal of Agriculture Science. 9, 309.
44. Scaife, A. Turner, M. 1983. Diagnosis of Mineral Disorders in Plants. Londres, UK. Pp 213-239
45. Siton, D. Kravzhick, S. Plaut, Z. Gravve, A. 1996. High quality tomato production with saline water. A report for 1993-1994. Bgun-ari-9-96. The inst. for App. Res. Ben-Gurion univ. (in Hebrew).
46. Suelter, C. 1985. Role of potassium in enzyme catalysis. Potassium in agriculture. 2a ed. Wisconsin, USA. pp 337-349.
47. Swiader, J. 1984. Potash fertilization rates and timing trials for maximum production of tomato varieties on irrigated sandy Illinois soils. University of Illinois, Urbana.
48. Thomson, L. Troeh, F. 1978. Soils and Soils Fertility. 4a ed. Iowa, USA.
49. Tisdale, S. Nelson, W. Beaton, J. Havlin, J. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5a ed. New York, USA.
50. Trudel, M. Ozbun J. 1971. Influence of potassium on carotenoid contents of tomato fruit. Journal of American society of horticulture science. 96: pp 763-765.
51. Uexkull, H. Sanders, J. 1986. Chloride in the nutrition of palm trees. American society of agronomy. Special bulletin N° 2.
52. Von-Uexkull, H. 1978. Tomato: nutrition and fertilizer requirements in the tropics. p. 65-77. In First International Symposium on tropical tomato. Asian vegetable Research and Development Center, Shanhu, Taiwan.



53. Warncke, D y Barber, A. 1972. Diffusion of zinc in soil: II. The influence of soil bulk density and its interaction with soil moisture. Soil science society American Proc. 36: pp 42-46.
54. Wilcox, G. 1964. Effects of potassium on tomato growth and production. American society horticulture science. 85: pp 484-489.
55. Williams, J.1972. Water quality criteria for crop irrigation (chloride, boron and sodium). A.D.A.S. review N° 7, 106-122.
56. Windsor, G. Davies, J. Long, M. 1961. Liquid feeding of glass housed tomatoes: The effects of potassium concentration on fruit quality and yield. Journal of Horticulture Society. 36. pp 254-267.
57. Zamalvide, J. no publicado. Calidad de aguas para riego en producciones hortícolas y frutícolas.
58. Zeiger, E. 1983. The biology of stomatal guard cells. Annual review. Plant Physiology. 34: pp 441-475.

## **Anexo 1.- Descripción del Suelo del experimento**

*Unidad:* S2

*Clasificación:* Argisol distrito ocrítico-típico

*Relieve local:* loma ligeramente convexa con 1 % de pendiente

*Geología:* sedimentos arcillo arenosos de Salto

*Uso actual:* campo natural con caraguatá (regenerado)

*Descripción del perfil:*

- 0-20 cms. A1: Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) húmedo, pardo grisáceo (10 YR 4,5/2) seco; franco arenoso; muy friable; bloques subangulares medios, débiles; transición gradual.
- 20-35 cms A3: Prado muy oscuro (10 YR 2/2) húmedo, pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) seco; franco arcillo arenoso a franco arenoso; con gravilla; bloques subangulares medios y finos, débiles a moderados; transición clara.
- 35-50 cms B21t: Gris muy oscuro a negro (10 YR 2.5/1) con moteado rojo amarillento (5 YR 5/8) común, mediano, sobresaliente; franco arcillo arenoso pesado con gravilla; - plástico y pegajoso; prismas medios, fuertes; películas de arcilla medias, continuas; concreciones de hierro y manganeso comunes, pequeñas, duras; transición clara.
- 50-65 cms. B22t: Gris oscuro (10 YR 4/1) con moteado pardo fuerte (7,5 YR 5/8) y pardo amarillento (10 YR 5/6) abundante, medio y grande, sobresaliente; franco arcillo arenoso a arcilloso; plástico y pegajoso; prismas medios y gruesos, fuertes, películas de arcilla, continuas; concreciones de hierro y manganeso comunes, pequeñas; transición gradual.
- 65-90 cms B23t: Gris (5 Y 5/1) con moteado pardo fuerte (7,5 YR 5/8) común, grande sobresaliente; franco arcillo arenoso con gravilla; plástico y pegajoso; prismas gruesos que rompen en bloques angulares medios, fuertes; películas de arcilla continuas; concreciones de hierro y manganeso comunes, grandes, muy friables; transición gradual.
- 90-105 cms. B3: Gris (5 Y 5/1) y pardo rojizo (5YR 4/4); franco arcillo arenoso con gravilla; plástico y pegajoso; bloques angulares y subangulares medios, moderados; películas de arcilla, discontinuas; concreciones de hierro y manganeso comunes, pequeñas transición gradual.
- 105 cms. + C: Pardo (7,5 YR 5/3) y pardo grisáceo (10 YR 5/3) y pardo grisáceo (10 Yr 5/2); franco arcillo arenoso con abundante gravilla.

*Observaciones:* La profundidad del horizonte A frecuentemente llega a 50 cms. En el horizonte B23 o B3 y C aparecen estratos de santos de 20 – 30 cms. De espesor ondulantes y discontinuos.

Nº análisis	51	52	53	54	55	56	57
Profundidad en cms	0-20	20-35	35-50	50-65	65-90	90-105	105+
Horizonte	A1	A3	B21t	B22t	B23t	B3	C
pH en H <sub>2</sub> O	5.2	5.8	6.0	6.3	6.5	6.6	6.6

Datos referidos por 100 grs. de tierra seca a 100-105 °C

**Análisis mecánico internacional**

<b>Arenas</b>							
2 - 1 mm. %	0.3	1.7	2	1.8	2.2	1.6	1.5
1 - 0.5 %	10.5	10.3	9.7	8.9	11.9	9.9	8.4
0.5 - 0.25 mm %	41.1	38.4	30.5	30.6	33.3	30.6	30
0.25 - 0.10 mm %	16.9	15.1	12.1	12.3	10.8	11.9	13.1
0.10 - 0.05 mm %	3.0	2.5	2.1	2.1	1.7	2.1	2.4
Arena total %	71.8	68	56.4	55.7	59.9	56.1	55.4
Lima %	13.2	10.5	10.3	10	10	13.4	14.6
Arcilla %	15	21.5	33.3	34.3	30.1	30.5	30
Textura	F Ar	F Ac Ar	F Ac Ar	F Ac Ar	F Ac Ar	F Ac Ar	F Ac Ar

**Complejo de intercambio m.e./100 g**

Ca	3.7	5.5	11	12.1	14.5	13.2	13.8
Mg	2.1	2.6	4.2	5.8	3.8	3.7	2.9
K	0.37	0.16	0.18	0.18	0.16	0.22	0.21
Na	0.16	0.15	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24
Bases totales	6.3	8.4	15.6	18.3	18.7	17.4	17.2
Acidez inter. pH	1.8	1.7	1.6	0.9	0.8	0.3	0.2
Capacidad total pH 7.0	8.1	10.1	17.2	19.2	19.5	17.7	17.4
% saturación pH 7.0	77.8	83.2	90.7	95.3	95.9	98.3	98.8

## Anexo 2.- Conteo de Plantas realizado

Tratamiento	Bloque	22/08/02	20/09/02	03/11/02	10/12/02
A	1	69	64	45	25
A	2	80	75	52	42
A	3	62	62	45	36
A	<b>Total</b>	211	201	142	103
B	1	79	75	31	15
B	2	74	69	36	18
B	3	77	77	63	61
B	<b>Total</b>	230	221	130	94
C	1	80	77	60	37
C	2	65	64	55	20
C	3	78	78	69	63
C	<b>Total</b>	223	219	184	120
D	1	76	74	36	11
D	2	75	68	39	39
D	3	77	73	64	55
D	<b>Total</b>	228	215	139	105
E	1	71	69	30	8
E	2	80	63	45	4
E	3	74	72	63	61
E	<b>Total</b>	225	204	138	73
F	1	74	73	57	27
F	2	77	71	44	30
F	3	77	75	72	72
F	<b>Total</b>	228	219	173	129

Referencias:

Tratamiento	Dosis de ClK y NO <sub>3</sub> K	Nivel de N y K
A	100 % NO <sub>3</sub> K	- 25 %
B	100 % NO <sub>3</sub> K	+ 25 %
C	50 % ClK y 50 % NO <sub>3</sub> K	- 25 %
D	50 % ClK y 50 % NO <sub>3</sub> K	+ 25 %
E	100 % ClK	- 25 %
F	100 % ClK	+ 25 %

### Anexo 3.- Conductividad eléctrica de la solución concentrada de cada tratamiento

Tratamiento	Dosis de ClK y NO <sub>3</sub> K	Nivel de N y K
A	100 % NO <sub>3</sub> K	- 25 %
B	100 % NO <sub>3</sub> K	+ 25 %
C	50 % ClK y 50 % NO <sub>3</sub> K	- 25 %
D	50 % ClK y 50 % NO <sub>3</sub> K	+ 25 %
E	100 % ClK	- 25 %
F	100 % ClK	+ 25 %

Trat	Fecha	Ce	Trat	Fecha	Ce	Trat	Fecha	Ce
A	10/06	2.50	B	10/06	3.70	C	10/06	2.80
A	14/06	2.30	B	14/06	3.50	C	14/06	3.00
A	20/06	2.60	B	20/06	4.10	C	20/06	3.20
A	25/06	2.70	B	25/06	3.90	C	25/06	3.70
A	05/07	3.00	B	05/07	4.60	C	05/07	3.70
A	12/07	2.80	B	12/07	4.10	C	12/07	3.20
A	08/08	5.10	B	08/08	5.10	C	08/08	4.10
A	02/09	3.40	B	02/09	5.60	C	02/09	3.90
A	14/09	3.30	B	14/09	4.90	C	14/09	4.00
A	20/09	4.45	B	20/09	5.47	C	20/09	4.34
A	25/09	4.45	B	25/09	5.47	C	25/09	4.34
A	04/10	3.68	B	04/10	5.00	C	04/10	4.20
A	17/10	3.64	B	17/10	5.99	C	17/10	4.30
A	28/10	4.00	B	28/10	4.52	C	28/10	3.62
A	05/11	3.85	B	05/11	5.87	C	05/11	4.00
A	27/11	4.62	B	27/11	5.33	C	27/11	4.22
D	10/06	4.40	E	10/06	3.40	F	10/06	5.10
D	14/06	4.40	E	14/06	3.40	F	14/06	5.40
D	20/06	4.60	E	20/06	3.90	F	20/06	6.00
D	25/06	4.30	E	25/06	3.50	F	25/06	5.10
D	05/07	5.40	E	05/07	4.20	F	05/07	6.20
D	12/07	3.50	E	12/07	3.80	F	12/07	5.70
D	08/08	6.40	E	08/08	4.80	F	08/08	7.80
D	02/09	4.50	E	02/09	3.70	F	02/09	7.60
D	14/09	4.20	E	14/09	3.90	F	14/09	6.70
D	20/09	6.17	E	20/09	7.66	F	20/09	7.40
D	25/09	6.17	E	25/09	7.66	F	25/09	7.40
D	04/10	6.02	E	04/10	4.58	F	04/10	7.37
D	17/10	6.43	E	17/10	3.75	F	17/10	8.48
D	28/10	4.00	E	28/10	7.00	F	28/10	8.70
D	05/11	5.35	E	05/11	4.35	F	05/11	7.46
D	27/11	6.00	E	27/11	4.30	F	27/11	8.32

Referencias Ce: Conductividad eléctrica (mS/cm).

Trat: Tratamiento.

## Anexo 4.- Conductividad eléctrica de los extractores de solución de suelo

Tratamiento	Dosis de ClK y NO <sub>3</sub> K	Nivel de N y K	Promedio Ce (ms)
A	100 % NO <sub>3</sub> K	- 25 %	2.90
B	100 % NO <sub>3</sub> K	+ 25 %	2.04
C	50 % ClK y 50 % NO <sub>3</sub> K	- 25 %	2.05
D	50 % ClK y 50 % NO <sub>3</sub> K	+ 25 %	2.90
E	100 % ClK	- 25 %	2.99
F	100 % ClK	+ 25 %	2.02

Trat	Fecha	Ce	Trat	Fecha	Ce	Trat	Fecha	Ce
A	06/08	1.10	B	06/08	2.80	C	06/08	2.10
A	07/08	3.10	B	07/08	2.60	C	07/08	3.00
A	16/08	4.10	B	16/08	2.50	C	16/08	3.30
A	22/08	5.00	B	22/08	2.60	C	22/08	3.50
A	22/08	4.50	B	22/08	2.00	C	22/08	2.90
A	26/08	-----	B	26/08	0.80	C	26/08	0.90
A	09/09	-----	B	09/09	2.50	C	09/09	1.70
A	17/09	3.30	B	17/09	3.00	C	17/09	1.60
A	20/09	2.31	B	20/09	-----	C	20/09	1.92
A	03/10	2.75	B	03/10	-----	C	03/10	1.85
A	10/10	-----	B	10/10	-----	C	10/10	1.84
A	24/10	1.49	B	24/10	-----	C	24/10	1.50
A	04/11	-----	B	04/11	-----	C	04/11	1.52
A	25/11	2.60	B	25/11	0.56	C	25/11	1.38
A	04/12	2.10	B	04/12	1.00	C	04/12	1.54
A	17/12	2.40	B	17/12	-----	C	17/12	2.28
D	06/08	2.90	E	06/08	2.60	F	06/08	-----
D	07/08	3.60	E	07/08	4.50	F	07/08	-----
D	16/08	2.90	E	16/08	4.30	F	16/08	-----
D	22/08	3.40	E	22/08	4.50	F	22/08	-----
D	22/08	2.80	E	22/08	2.60	F	22/08	-----
D	26/08	-----	E	26/08	1.00	F	26/08	0.70
D	09/09	3.60	E	09/09	2.80	F	09/09	3.10
D	17/09	-----	E	17/09	-----	F	17/09	-----
D	20/09	3.13	E	20/09	2.81	F	20/09	-----
D	03/10	-----	E	03/10	-----	F	03/10	3.00
D	10/10	-----	E	10/10	-----	F	10/10	2.56
D	24/10	1.40	E	24/10	-----	F	24/10	-----
D	04/11	-----	E	04/11	2.65	F	04/11	-----
D	25/11	-----	E	25/11	-----	F	25/11	1.39
D	04/12	-----	E	04/12	1.09	F	04/12	1.90
D	17/12	2.41	E	17/12	4.08	F	17/12	1.46

Referencias Ce: Conductividad eléctrica (mS/cm)  
 Trat: Tratamiento  
 ----: Sin dato

## Anexo 5.- Fertilizaciones realizadas

Tratamiento	Dosis de ClK y NO <sub>3</sub> K	Nivel de N y K
A	100 % NO <sub>3</sub> K	- 25 %
B	100 % NO <sub>3</sub> K	+ 25 %
C	50 % ClK y 50 % NO <sub>3</sub> K	- 25 %
D	50 % ClK y 50 % NO <sub>3</sub> K	+ 25 %
E	100 % ClK	- 25 %
F	100 % ClK	+ 25 %

Dosis de fertilizantes aplicados por tratamientos desde el 11 de junio al 12 junio (N° aplicaciones 2) en gr/1000 m<sup>2</sup>.

	A	B	C	D	E	F
NO <sub>3</sub> K	2112.7	3535.2	1062.0	1767.6	0.0	0.0
NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub>	195.8	478.9	619.7	1183.1	1032.4	1873.2
ClK	0.0	0.0	811.3	1338.0	1623.9	2704.2
SO <sub>4</sub> Mg	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> cc	563.4	563.4	563.4	563.4	563.4	563.4
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> cc	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5
(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0
HNO <sub>3</sub> cc	422.5	422.5	422.5	422.5	422.5	422.5

Dosis de fertilizantes aplicados por tratamientos desde el 14 de junio al 4 octubre (N° aplicaciones 40) en gr/1000 m<sup>2</sup>.

	A	B	C	D	E	F
NO <sub>3</sub> K	2394.4	4070.4	1253.5	1971.8	0.0	0.0
NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub>	295.8	493.0	732.4	1323.9	1211.3	2056.3
ClK	0.0	0.0	915.5	1521.1	1845.1	3084.5
SO <sub>4</sub> Mg	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> cc	563.4	563.4	563.4	563.4	563.4	563.4
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> cc	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5	77.5
(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0
HNO <sub>3</sub> cc	422.5	422.5	422.5	422.5	422.5	422.5

Dosis de fertilizantes aplicados por tratamientos desde el 5 octubre al 15 noviembre (N° aplicaciones 15) en gr/1000 m<sup>2</sup>.

	A	B	C	D	E	F
NO <sub>3</sub> K	1760.6	2859.2	1014.1	1267.6	0.0	0.0
NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub>	831.0	1380.3	1070.4	2295.8	1394.4	3831.0
ClK	0.0	0.0	563.4	1366.2	1225.4	3098.6
SO <sub>4</sub> Mg	493.0	493.0	493.0	493.0	493.0	493.0
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> cc	563.4	563.4	563.4	563.4	563.4	563.4
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> cc	70.4	70.4	70.4	70.4	70.4	70.4
(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca	493.0	493.0	493.0	493.0	493.0	493.0
HNO <sub>3</sub> cc	422.5	422.5	422.5	422.5	422.5	422.5

\* Área por tratamiento 71 m<sup>2</sup>.

## Anexo 6.- Números de frutas y análisis con covariable

Numero de frutas totales, para el periodo junio-diciembre por tratamiento y resumen del ANOVA.

	<b>NO<sub>3</sub>K</b>	<b>NO<sub>3</sub>K + CIK</b>	<b>CIK</b>	<b>Prom</b>
<b>N-K Bajo</b>	140,0	135,3	133,7	136,4
<b>N-K Alto</b>	135,9	144,1	145,8	142,0
<b>Prom</b>	138,0	139,7	139,8	139,2

	<b>Valor F</b>	<b>Pr</b>
<b>Fuente</b>	0.2012	
<b>Dosis</b>	4.6831	0.0339
<b>Interacción</b>	3.6293	0.0316
<b>CV (%)</b>	10.46	

Resultado del Anova para rendimiento total, para el periodo junio-diciembre, con número de plantas como covariable.

<b>Fuente de variación</b>	<b>Valor F</b>	<b>Pr</b>
Tipo de Fuente	0.22	
Dosis	1.78	0,1858
Interacción Dosis N-K x Fuente	1.78	0.1753
Bloque	34.59	0.0003
Mes	185.22	0.0000
Interacción Mes x Fuente	0.48	
Interacción Mes x Dosis N-K	0.38	
Interacción Mes x Dosis N-K x Fuente	0.95	
Covariable	0.31	



## Anexo 7.- Datos utilizados para la realización del análisis estadístico

Datos de 4 cosechas del mes de junio acumulados (rendimientos en Kg/parcela)

Fuente	Dosis N-K	Bloque	Rend Come.	Nº frut. Come.	Rend. Desc.	Nº frut. Des.	Rend. Total	Nº frut. Total	Nº Plantas
1	1	1	23,24	118	0,52	8	23,76	126	81
1	1	2	24,11	120	0,95	17	25,06	137	82
1	1	3	19,93	106	1,46	20	21,39	126	80
1	2	1	25,12	129	1,37	18	26,49	147	82
1	2	2	22,21	111	0,75	9	22,96	120	81
1	2	3	20,79	113	1,70	20	22,49	133	82
2	1	1	21,46	113	1,03	14	22,49	127	82
2	1	2	16,89	75	0,95	12	17,84	87	80
2	1	3	21,65	119	2,10	27	23,75	146	82
2	2	1	21,79	104	0,88	12	22,67	116	81
2	2	2	24,47	119	0,99	10	25,46	129	81
2	2	3	20,39	115	2,28	33	22,67	148	82
3	1	1	19,45	95	1,07	13	20,52	108	81
3	1	2	22,88	120	1,93	26	24,81	146	82
3	1	3	18,52	96	1,66	24	20,18	120	81
3	2	1	24,06	113	1,02	14	25,08	127	81
3	2	2	18,92	92	1,24	15	20,16	107	82
3	2	3	23,27	125	2,09	30	25,36	155	82

### Referencias

Fuente	Nº	Dosis N-K	Nº
NO <sub>3</sub> K	1	Bajo	1
NO <sub>3</sub> K/CIK	2	Alto	2
CIK	3		

## Anexo 7.- Continuación

Datos de 9 cosechas del mes de Julio acumulados (rendimientos en Kg/parcela)

Fuente	Dosis N-K	Bloque	Rend Come.	Nº frut. Come.	Rend. Desc.	Nº frut. Des.	Rend. Total	Nº frut. Total	Nº Plantas
1	1	1	97,83	539	7,24	121	105,07	660	76
1	1	2	104,80	581	7,55	124	112,35	705	81
1	1	3	85,49	443	5,23	81	90,72	524	73
1	2	1	103,24	525	6,57	111	109,81	636	81
1	2	2	99,45	515	6,87	102	106,32	617	79
1	2	3	107,69	549	8,03	115	115,72	664	80
2	1	1	95,49	508	5,30	97	100,79	605	81
2	1	2	82,07	412	6,50	90	88,57	502	75
2	1	3	102,23	535	6,78	112	109,01	647	80
2	2	1	91,52	478	8,90	124	100,42	602	79
2	2	2	102,90	548	8,18	123	111,08	671	79
2	2	3	91,91	483	7,68	128	99,59	611	80
3	1	1	88,59	409	4,55	81	93,14	490	77
3	1	2	94,76	481	7,52	118	102,28	599	81
3	1	3	99,13	520	7,36	120	106,49	640	79
3	2	1	98,15	511	6,03	95	104,18	606	79
3	2	2	100,55	537	7,70	120	108,25	657	80
3	2	3	94,62	524	7,46	117	102,08	641	80

### Referencias

Fuente	Nº	Dosis N-K	Nº
NO <sub>3</sub> K	1	Bajo	1
NO <sub>3</sub> K/CIK	2	Alto	2
CIK	3		

## Anexo 7.- Continuación

Datos de 9 cosechas del mes de agosto acumulados (rendimientos en Kg/parcela)

Fuente	Dosis N-K	Bloque	Rend Come.	Nº frut. Come.	Rend. Desc.	Nº frut. Des.	Rend. Total	Nº frut. Total	Nº Plantas
1	1	1	44,10	260	5,92	90	50,02	350	71
1	1	2	52,09	300	6,62	103	58,71	403	80
1	1	3	42,09	235	5,70	95	47,79	330	66
1	2	1	46,19	265	4,58	71	50,77	336	79
1	2	2	51,93	286	7,27	103	59,20	389	75
1	2	3	40,20	256	6,95	98	47,15	354	78
2	1	1	44,50	256	5,37	83	49,87	339	80
2	1	2	46,04	252	6,26	98	52,30	350	68
2	1	3	42,05	247	6,33	95	48,38	342	79
2	2	1	45,45	260	4,99	74	50,44	334	77
2	2	2	54,39	306	7,30	105	61,69	411	75
2	2	3	43,30	258	5,96	91	49,26	349	77
3	1	1	44,86	269	5,17	80	50,03	349	73
3	1	2	50,19	294	6,69	91	56,88	385	78
3	1	3	44,15	280	6,38	96	50,53	376	75
3	2	1	47,26	272	5,14	78	52,40	350	75
3	2	2	54,13	308	6,15	98	60,28	406	77
3	2	3	39,96	244	7,37	119	47,33	363	78

### Referencias

Fuente	Nº	Dosis N-K	Nº
NO <sub>3</sub> K	1	Bajo	1
NO <sub>3</sub> K/CIK	2	Alto	2
CIK	3		

## Anexo 7.- Continuación

Datos de 9 cosechas del mes de setiembre acumulados (rendimientos en Kg/parcela)

Fuente	Dosis N-K	Bloque	Rend Come.	Nº frut. Come.	Rend. Desc.	Nº frut. Des.	Rend. Total	Nº frut. Total	Nº Plantas
1	1	1	35,00	236	12,69	203	47,69	439	64
1	1	2	45,37	293	11,17	184	56,54	477	74
1	1	3	48,19	312	9,60	151	57,79	463	60
1	2	1	42,59	286	8,74	147	51,33	433	72
1	2	2	40,42	268	11,76	166	52,18	434	67
1	2	3	37,61	280	17,91	278	55,52	558	76
2	1	1	44,18	290	10,94	179	55,12	469	77
2	1	2	40,86	252	7,56	127	48,42	379	64
2	1	3	38,14	269	16,77	264	54,91	533	77
2	2	1	42,53	281	14,13	220	56,66	501	71
2	2	2	42,04	301	14,87	208	56,91	509	67
2	2	3	43,89	294	10,56	166	54,45	460	74
3	1	1	42,52	284	8,54	127	51,06	411	66
3	1	2	42,68	280	10,37	156	53,05	436	67
3	1	3	44,14	316	12,00	184	56,14	500	72
3	2	1	44,53	282	13,26	200	57,79	482	72
3	2	2	43,32	280	9,65	144	52,97	424	70
3	2	3	41,39	293	16,21	279	57,60	572	75

### Referencias

Fuente	Nº	Dosis N-K	Nº
NO <sub>3</sub> K	1	Bajo	1
NO <sub>3</sub> K/CIK	2	Alto	2
CIK	3		

## Anexo 7.- Continuación

Datos de 11 cosechas del mes de octubre acumulados (rendimientos en Kg/parcela)

Fuente	Dosis N-K	Bloque	Rend Come.	Nº frut. Come.	Rend. Desc.	Nº frut. Des.	Rend. Total	Nº frut. Total	Nº Plantas
1	1	1	55,49	354	28,11	439	83,60	793	53
1	1	2	65,18	450	34,98	536	100,16	986	62
1	1	3	88,06	537	19,39	313	107,45	850	53
1	2	1	58,06	360	30,99	528	89,05	888	50
1	2	2	55,13	362	25,85	392	80,98	754	50
1	2	3	82,05	545	23,92	362	105,97	907	69
2	1	1	57,35	373	30,91	499	88,26	872	71
2	1	2	66,02	408	21,17	261	87,19	669	59
2	1	3	85,18	587	25,75	401	110,93	988	73
2	2	1	62,44	383	30,34	493	92,78	876	52
2	2	2	63,50	427	31,96	488	95,46	915	52
2	2	3	94,95	598	26,71	424	121,66	1.022	68
3	1	1	57,32	363	24,31	409	81,63	772	47
3	1	2	58,80	396	33,63	498	92,43	894	53
3	1	3	91,76	583	25,34	371	117,10	954	67
3	2	1	59,20	407	26,46	461	85,66	868	64
3	2	2	68,21	456	31,04	501	99,25	957	56
3	2	3	72,37	511	31,31	482	103,68	993	73

### Referencias

Fuente	Nº	Dosis N-K	Nº
NO <sub>3</sub> K	1	Bajo	1
NO <sub>3</sub> K/CIK	2	Alto	2
CIK	3		

## Anexo 7.- Continuación

Datos de 18 cosechas del mes de noviembre acumulados (rendimientos en Kg/parcela)

Fuente	Dosis N-K	Bloque	Rend Come.	Nº frut. Come.	Rend. Desc.	Nº frut. Des.	Rend. Total	Nº frut. Total	Nº Plantas
1	1	1	33,80	239	12,13	203	45,93	442	39
1	1	2	40,64	295	16,05	246	56,69	541	49
1	1	3	54,24	366	10,59	158	64,83	524	43
1	2	1	27,36	196	11,20	177	38,56	373	27
1	2	2	33,99	244	13,93	216	47,92	460	31
1	2	3	54,38	375	12,49	168	66,87	543	63
2	1	1	35,25	254	11,71	186	46,96	440	56
2	1	2	49,95	335	13,18	201	63,13	536	43
2	1	3	57,53	392	10,82	154	68,35	546	67
2	2	1	30,00	204	11,13	187	41,13	391	29
2	2	2	42,54	294	14,85	223	57,39	517	40
2	2	3	55,79	376	10,34	140	66,13	516	61
3	1	1	24,21	187	10,01	196	34,22	383	24
3	1	2	33,41	244	14,55	226	47,96	470	31
3	1	3	65,45	398	9,18	131	74,63	529	63
3	2	1	32,53	242	11,73	181	44,26	423	47
3	2	2	46,70	335	15,49	248	62,19	583	40
3	2	3	54,83	384	11,29	159	66,12	543	72

### Referencias

Fuente	Nº	Dosis N-K	Nº
NO <sub>3</sub> K	1	Bajo	1
NO <sub>3</sub> K/CIK	2	Alto	2
CIK	3		

## Anexo 7.- Continuación

Datos de 11 cosechas del mes de diciembre acumulados (rendimientos en Kg/parcela)

Fuente	Dosis N-K	Bloque	Rend Come.	Nº frut. Come.	Rend. Desc.	Nº frut. Des.	Rend. Total	Nº frut. Total	Nº Plantas
1	1	1	12,66	87	8,75	110	21,41	197	28
1	1	2	18,21	121	10,59	147	28,80	268	44
1	1	3	55,42	337	24,35	178	79,77	515	37
1	2	1	6,20	46	6,68	102	12,88	148	17
1	2	2	16,33	111	10,39	136	26,72	247	21
1	2	3	46,76	290	10,58	137	57,34	427	61
2	1	1	6,89	50	10,92	156	17,81	206	41
2	1	2	21,13	137	12,21	155	33,34	292	25
2	1	3	49,03	301	11,24	145	60,27	446	64
2	2	1	5,51	39	6,95	174	12,46	213	15
2	2	2	16,94	112	14,48	193	31,42	305	39
2	2	3	61,45	379	14,43	169	75,88	548	56
3	1	1	5,00	33	6,79	109	11,79	142	11
3	1	2	19,99	132	8,37	111	28,36	243	10
3	1	3	46,67	303	13,48	162	60,15	465	61
3	2	1	72,56	50	11,37	160	83,93	210	31
3	2	2	16,69	112	12,33	172	29,02	284	32
3	2	3	56,85	353	12,64	158	69,49	511	72

Referencias

Fuente	Nº	Dosis N-K	Nº
NO <sub>3</sub> K	1	Bajo	1
NO <sub>3</sub> K/CIK	2	Alto	2
CIK	3		

## Tabla de contenidos

Página de aprobación	
Agradecimientos	
1) Introducción	1
2) Revisión Bibliográfica	2
2.1) Fertirriego en tomate bajo invernadero	2
2.2) Comparación de fuentes potásicas	4
2.3) Propiedades físico-químicas y funciones fisiológicas del cloro	5
2.4) Cloro en el suelo	7
2.5) Deficiencia de cloro	8
2.6) Toxicidad del cloro	9
2.7) Potasio	12
2.7.1) Disponibilidad de potasio en la interfase suelo-raíz y los factores que influyen en la absorción de potasio	12
2.7.1.1) Mecanismos de suministro de potasio a las raíces de las plantas	12
2.7.1.2) Factores que influyen en la difusión del potasio del suelo	13
2.7.2) Forma de ingreso del potasio a las células	14
2.7.3) Rol del potasio en la catálisis enzimática	15
2.7.4) Efecto del potasio en las plantas y en las estructuras celulares	15
2.7.5) El rol del potasio en la fotosíntesis y la respiración	16
2.7.6) Importancia del potasio en el transporte asimilativo	16
2.7.7) El rol del potasio en la calidad del tomate	17
2.8) Concentración salina de la solución de suelo	17
2.8.1) Conductividad eléctrica	17
2.8.2) Factores que afectan la conductividad	18
2.8.3) Relación entre conductividad y sólidos disueltos totales	18
2.8.4) Efectos negativos de la salinidad	19
2.8.5) Dinámica de las sales en el suelo por efecto del riego	19
2.8.6) Efecto de la salinidad en parámetros productivos	20
3) Materiales y métodos	21
3.1) Fecha y Ubicación del experimento	21
3.2) Datos climáticos	21
3.3) Análisis químico de aguas	22
3.4) Tipo y análisis de suelo	23
3.5) Preparación del experimento	23
3.6) Instalación del experimento	23
3.7) Manejo general del cultivo	24
3.8) Diseño experimental	24
3.9) Descripción de tratamientos	24
3.9.1) Diagrama del experimento	26
3.10) Evaluaciones realizadas	27
3.11) Análisis estadístico	27
4) Resultados y discusión	29
4.1) Rendimientos acumulados por periodos de cosecha	29
4.1.1) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para todo el periodo (junio-diciembre)	29
4.1.2) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento comercial para todo el periodo (junio-diciembre)	31
4.2) Rendimientos por periodos de meses agrupados	31
4.2.1) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para el periodo inicial (junio-agosto)	31



4.2.2) Efecto de fuentes potásicas y dosis en el rendimiento comercial para el periodo inicial (junio-agosto).....	32
4.2.3) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para el periodo intermedio (setiembre-octubre) .....	33
4.2.4) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento comercial para el periodo intermedio (setiembre-octubre) .....	33
4.2.5) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para el periodo final (noviembre-diciembre).....	34
4.2.6) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento comercial para el periodo final (noviembre-diciembre).....	34
4.3) Rendimientos mensuales.....	35
4.3.1) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para junio .....	35
4.3.2) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para julio .....	36
4.3.3) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para agosto .....	36
4.3.4) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para setiembre .....	37
4.3.5) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para octubre.....	37
4.3.6) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para noviembre.....	38
4.3.7) Efecto de fuentes potásicas y dosis N-K en el rendimiento total para diciembre.....	38
4.4) Discusión General .....	39
5) Conclusiones .....	41
6) Resumen .....	42
7) Bibliografía .....	43
Anexo 1.- Descripción del Suelo del experimento.....	47
Anexo 2.- Conteo de Plantas realizado .....	49
Anexo 3.- Conductividad eléctrica de la solución concentrada de cada tratamiento.....	50
Anexo 4.- Conductividad eléctrica de los extractores de solución de suelo.....	51
Anexo 5.- Fertilizaciones realizadas .....	52
Anexo 6.- Números de frutas y análisis con covariable .....	53
Anexo 7.- Datos utilizados para la realización del análisis estadístico .....	54
Anexo 7.- Continuación .....	55
Anexo 7.- Continuación .....	56
Anexo 7.- Continuación .....	57
Anexo 7.- Continuación .....	58
Anexo 7.- Continuación .....	59
Anexo 7.- Continuación .....	60

## Lista de Cuadros

1.- Recomendaciones de fertilización potásica para tomate a campo en Michigan U.S.A.....	2
2.- Recomendaciones de fertilización N-P-K para tomate en suelo arenoso.....	3
3.- Recomendaciones de fertilización N-P-K para tomate en suelo arcilloso.....	3
4.- Recomendaciones de composición de la solución nutritiva para tomate en hidroponía.....	3
5.- Solubilidad de distintos fertilizantes potásicos a distintas temperaturas en gr/litro.....	4
6.- Disminución del rendimiento en distintas especies en ausencia de cloro.....	6
7.- Valores de conductividad de algunas muestras típicas.....	18
8.- Horas de sol decádica y mensual del año 2002 y del promedio del periodo 90-02 y diferencia del 2002 con la serie promedio de años.....	21
9.- Sumatorias de temperaturas por encima de 10 °C del año 2002 y del promedio del periodo 76-02.....	22
10.- Análisis químico de aguas de riego.....	22
11.- Análisis químico del suelo del experimento.....	23
12.- Descripción de tratamientos.....	24
13.- Cantidades aplicadas en Kg/ha para cada elemento para todo el periodo.....	25
14.- Cantidades aplicadas en Kg/ha para cada fertilizante para todo el periodo.....	25
15.- Rendimientos totales acumulados en todo el ciclo del cultivo (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	29
16.- Rendimientos comerciales acumulados en todo el ciclo del cultivo (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	31
17.- Rendimientos totales acumulados para junio, julio y agosto (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	31
18.- Conductividad de la solución del suelo promedio para los tratamientos desde agosto hasta diciembre.....	32
19.- Rendimientos comerciales acumulados para junio, julio y agosto (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	32
20.- Rendimientos totales acumulados para setiembre y octubre (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	33
21.- Rendimientos comercial acumulados para setiembre y octubre (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	33
22.- Rendimientos totales acumulados para noviembre y diciembre (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	34
23.- Rendimientos comercial acumulados para noviembre y diciembre (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	34
24.- Anova general para rendimiento total.....	35
25.- Rendimientos total de junio (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	35
26.- Rendimientos total de julio (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	36
27.- Rendimientos total de agosto (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	36
28.- Rendimientos total de setiembre (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	37
29.- Rendimientos total de octubre (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	37
30.- Rendimientos total de noviembre (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	38
31.- Rendimientos total de diciembre (Kg/m <sup>2</sup> ) y resumen del ANOVA correspondiente.....	38