

# FERTIRRIGACION EN EL CULTIVO DE ESPARRAGO EN PERU

ING. JAVIER SANCHEZ VIGO. *Inagro Sur & Fertitec. Lima-Perú*  
Trabajo publicado en: *“Fertirrigación: Teoría e Práctica”*. A.E. Boaretto, R.L. Villas Boas, V.F. Sousa e I.R. Vidal. Universidad de Sao Paulo. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil, CD, 2006.

## RESUMEN

*En el Perú actualmente existen aproximadamente 22 000 has cultivadas con espárrago, de las cuales, 12 500 has están bajo sistema de riego presurizado (goteo), mostrando las zonas de Trujillo e Ica un crecimiento bastante alto, tanto en la superficie cultivada como en los rendimientos obtenidos.*

*Teniendo en cuenta este significativo crecimiento, el mismo que está orientado fundamentalmente a riego por goteo, nos lleva a plantear la necesidad de optimizar mejor el recurso agua y la cantidad de nutrientes aplicados. En tal sentido, el presente trabajo expone una combinación entre los criterios que deben tomarse en cuenta para la fertirrigación de cultivos y de las propuestas genéricas, resultado de varias experiencias en nuestro país para el cultivo del espárrago.*

*Se hace un análisis de los distintos factores tales como: condiciones del suelo, calidad del agua de riego, naturaleza de los fertilizantes, demanda de nutrientes del cultivo, requerimientos hídricos de la planta y grado de tecnología del sistema de riego; con miras a optimizar las aplicaciones de los fertilizantes por el sistema de riego (fertirriego). Asimismo, se expone experiencias de la extracción de nutrientes por el cultivo y de las eficiencias obtenidas.*

# **CONTENIDO**

## **I. GENERALIDADES**

- 1. Definición de fertirriego**
- 2. Características**

## **II. EL SUELO Y EL FERTIRRIEGO**

- 1. Textura**
- 2. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**
- 3. Salinidad**
- 4. pH o Reacción**

## **III. EL AGUA Y EL FERTIRRIEGO**

- 1. Calidad**

## **IV. LOS FERTILIZANTES Y EL FERTIRRIEGO**

- 1. Contenido de Nutrientes**
- 2. Grado de Solubilidad**
- 3. Compatibilidad**
- 4. Índice de Salinidad**
- 5. Índice de Acidez**

## **V. EL CULTIVO Y EL FERTIRRIEGO**

- 1. Elementos Esenciales**
- 2. Fenología del cultivo**
- 3. Extracción de Nutrientes**

## **VI. EL RIEGO Y EL FERTIRRIEGO**

- 1. El Agua en el Suelo**
- 2. Necesidades de Riego del Cultivo**
- 3. Coeficiente de Uniformidad de Riego**

## **VII. PROGRAMACION DEL FERTIRRIEGO**

- 1. Consideraciones de Cantidad e Intensidad**
- 2. Operaciones y Calibración**
- 3. Programa de Fertirriego**

## **VIII. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

## I. GENERALIDADES

### 1. Definición de Fertirrigación

Fertirriego o fertirrigación es la aplicación de fertilizantes a los cultivos por medio del agua de riego. En general, a la aplicación de agroquímicos por este medio recibe el nombre de quimigación.

### 2. Características

#### a. Ventajas

- Incrementa rendimientos y mejora la calidad de los productos:
  - Las cantidades y concentración de nutrientes pueden dosificarse de acuerdo con los requerimientos del cultivo y sus etapas de desarrollo.
  - Aplicación de fertilizantes solubles que se asimilan más rápidamente, ya que se distribuyen en la zona de raíces. Algunos fertilizantes se asimilan directamente y otros requieren una transformación química.
  - Las raíces del cultivo no se dañan en el fertirriego y el suelo no se compacta.
- Ahorro en los costos de la fertilización:
  - Alta eficiencia y uniformidad del agua hace que usemos menos fertilizantes.
  - Se usa menos equipo y menos energía para aplicar los fertilizantes.
  - Requiere de menos personal para supervisar.
- Facilita las labores agrícolas:
  - Se puede fertilizar cuando el suelo o el cultivo impiden la entrada de maquinaria.
- Reduce la contaminación:
  - Si el agua se aplica uniformemente y con alta eficiencia, los excedentes de riego son mínimos (percolación).

#### b. Inconvenientes

- Se requiere de inversión inicial:
  - Requiere de equipos de fertirriego.
  - Los fertilizantes solubles son más caros.

- Peligro al usar mezclas de fertilizantes.
  - Precipitan los fertilizantes no compatibles con otros o con el agua de riego.
  - Pueden haber reacciones violentas.
- Se requiere de personal calificado:
  - Seleccionar, manejar y dosificar fertilizantes, así como operar el sistema de riego.

## II. EL SUELO Y EL FERTIRRIEGO

### 1. La Textura

La textura es considerada como la propiedad física primaria de los suelos, debido a que influye directamente en otras propiedades físicas como: estructura, densidad, porosidad y sobre todo capacidad de almacenamiento, disponibilidad y fracción aprovechable de agua para los cultivos.

**Cuadro 1 : Características Hidrodinámicas de los Suelos en Función de su Textura.**

Grupo de Textura	Capacidad de Campo		Punto de Marchitez Permanente		Agua Disponible	
	Agua / 30 cm de profundidad					
	%	cm	%	cm	%	cm
<b>Arenoso</b>	<b>6.8</b>	<b>3.1</b>	<b>1.7</b>	<b>0.8</b>	<b>5.1</b>	<b>2.3</b>
<b>Fco.Arenoso</b>	<b>11.3</b>	<b>5.1</b>	<b>3.4</b>	<b>1.1</b>	<b>7.9</b>	<b>3.6</b>
<b>Franco</b>	<b>18.1</b>	<b>8.1</b>	<b>6.8</b>	<b>3.1</b>	<b>11.3</b>	<b>5.1</b>
<b>Fco.Arcilloso</b>	<b>21.5</b>	<b>9.7</b>	<b>10.2</b>	<b>4.6</b>	<b>11.3</b>	<b>5.1</b>
<b>Arcilloso</b>	<b>22.6</b>	<b>10.2</b>	<b>14.7</b>	<b>6.6</b>	<b>7.9</b>	<b>3.6</b>

En suelos arenoso, es más ventajosa la aplicación del fertilizante nitrogenado que en suelos arcillosos, debido a que se controla la profundidad de humedecimiento. Asimismo, el fósforo en suelos arenosos se remueve a mayor distancia que en suelos arcillosos; en suelos arenosos los riegos deben ser frecuentes y ligeros, mientras que en los suelos arcillosos, los riegos son menos frecuentes y pesados.

### 2. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Es una propiedad química que designa los procesos de adsorción y liberación de cationes del complejo de cambio (arcillo – húmico) y está influenciada por : cantidad y tipo de arcilla, cantidad de humus y el pH (o reacción del suelo).

## Cuadro 2: Relación entre la Textura y la Capacidad de Intercambio Catiónico de los Suelos.

Textura	CIC(meq/100g)	Categoría
Arena	< 5	Muy baja
Franco Arenoso	5 – 10	Baja
Franco	10 – 15	Media
Franco Arcilloso	15 – 25	Alta
Arcilloso	> 25	Muy alta

En suelos con alta capacidad de intercambio catiónico (franco arcillosos, arcillosos o con alto contenido de materia orgánica), los nutrientes y los pesticidas en general, pueden perder su efectividad por efecto de este intercambio.

En los suelos arenosos, la fertilización tienen efecto directo sobre el desarrollo de los cultivos debido a que no están tan sujetos a procesos de adsorción (fijación).

### 3. Salinidad

Los fertilizantes son sales que, agregadas con el agua de riego, forman una solución salina que se aplica al suelo. Esta tiene efectos benéficos si las sales son fertilizantes y se dosifican sin exceder los límites de calidad de agua para los cultivos; esto debido a que existe una relación entre la salinidad del agua de riego, de la solución del suelo y del agua de drenaje.

$$\begin{aligned} \text{C.E.ss} &= 3 \text{ C.E. ar} \\ \text{C.E.es} &= 1.5 \text{ C.E. ar} \\ \text{C.E.ss} &= 2 \text{ C.E es} \end{aligned}$$

Donde :

C.E. ar = Conductividad Eléctrica – agua de riego  
 C.E. ss = Conductividad Eléctrica – solución suelo  
 C.E. es = Conductividad Eléctrica – del extracto

Por otro lado, las sales pueden afectar a los cultivos por la presión osmótica y por efecto tóxico de los iones (cloro, sodio y boro principalmente).

El espárrago es un cultivo tolerante a la salinidad, bajo estas condiciones no muestra síntomas bien definidos hasta que la C.E.es del suelo sea igual o mayor a 10.0 dS/m. Sin embargo, muchos investigadores han demostrado para otras condiciones que 4.1 dS/m es el umbral de tolerancia de sales sobre el cual el rendimiento disminuye. Para nuestras condiciones se ha evidenciado que este umbral puede ser hasta 6.0 dS/m. Esto último se puede expresar de acuerdo a la ecuación propuesta por Meiré and Plaunt (en Mass, 1984).

**Cuadro 3. Tolerancia de algunos Cultivos a la Salinidad del Extracto de Saturación del Suelo (Ayres and Westcot, 1985. FAO).**

Cultivos	Tolerantes	Moderadamente Tolerantes	Sensibles
<b>Comunes</b>	<b>8 &lt; C.E.es &lt; 12</b> dS/cm	<b>4 &lt; C.E.es &lt; 8</b> dS/m	<b>C.E.es &lt; 3.2</b> dS/m
	Cebada Remolacha Azucarera Nabo Algodón	Centeno Trigo Avena Sorgo Soya	Maíz Arroz Girasol Higuerilla Frijol
<b>Hortícolas</b>	<b>5 &lt; C.E.es &lt; 8</b>	<b>3 &lt; C.E.es &lt; 5</b>	<b>C.E.es &lt; 3</b>
	Betabel Espárrago Espinaca	Tomate Brócoli Col Coliflor Lechuga Maíz Dulce Patata Camote	Pimiento Zanahoria Cebolla Melón Pepino Rábano Apio Ejote
<b>Cultivos Forrajeros</b>	<b>6 &lt; C.E.es &lt; 12</b>	<b>3 &lt; C.E.es &lt; 6</b>	<b>C.E.es &lt; 3</b>
	Pasto salado Pasto Bermuda Pasto Rhodes	Trébol dulce Pasto Inglés Pasto Dallis Sudán Alfalfa Centeno (para heno)	Avena (heno) Gramma Azul Trébol Grande Bromo Suave Trébol Blanco Holándes Trébol
<b>Frutales</b>	<b>6 &lt; C.E.es &lt; 8</b>	<b>3 &lt; C.E.es &lt; 8</b>	<b>C.E.es &lt; 3</b>
	Palma datilera	Granada Higuera Olivo Vid	Cítricos Manzana Peral Ciruela Almendra Durazno Zarzamora Frambuesas Palto Fresa

$$Y_r = 100 - b (C.E.es - a)$$

Donde:

- Y<sub>r</sub> = rendimiento relativo en condiciones salinas  
 100 = rendimiento potencial en condiciones no salinas  
 b = pendiente (=2) disminución del rendimiento en 2% por cada unidad de sales de incremento.  
 a = umbral de tolerancia (6.0 dS/m para el caso del Perú.

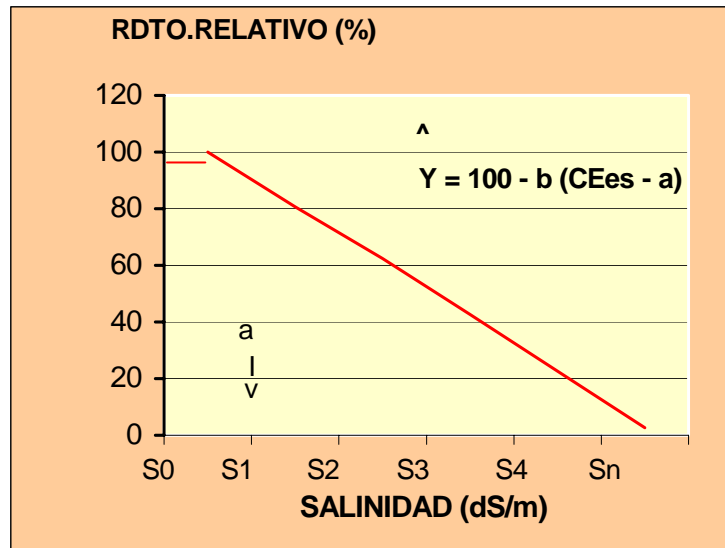


Figura 1: Respuesta de los Cultivos a la Salinidad (Mass & Hoffman. En: Mass, 1984)

#### 4. El pH de la Solución Suelo

El pH (o reacción) de la solución suelo influye en la capacidad de las plantas de absorber nutrientes; en general, puede considerarse entre 5.0 y 7.5 como valores extremos. Sin embargo, cada cultivo tiene un rango específico para su mejor desarrollo. La mayoría de las plantas absorben los nutrientes en un alto porcentaje a valores de pH entre 6.0 y 6.8

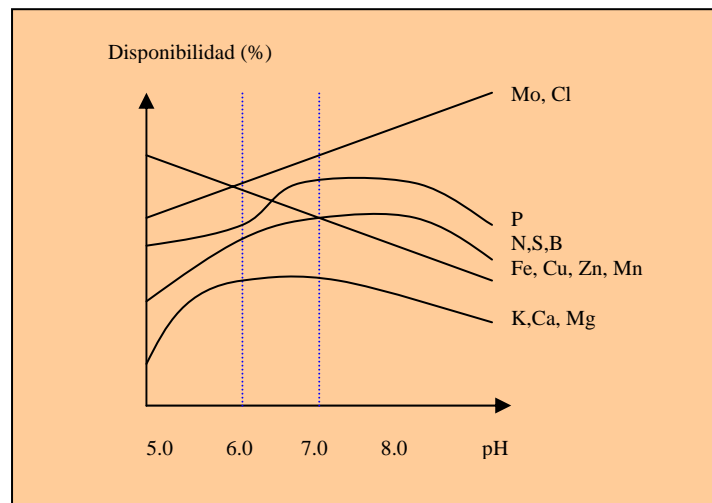


Figura 2: Influencia del pH sobre la disponibilidad de los Nutrientes (adaptado de Tisdale, et .al. , 1993)

### III. EL AGUA DE RIEGO Y EL FERTIRRIEGO

#### 1. Calidad de Agua

Independiente de la fuente (superficial o subterránea), la calidad del agua de riego es un término que se utiliza para indicar la conveniencia o

limitación del empleo del agua con fines de riego para los cultivos, en cuya determinación generalmente se toman las características químicas.

La calidad del agua depende de sus características físicas y químicas y también de los problemas potenciales que pueden generar a los cultivos, a los suelos y al sistema de riego, dando lugar al uso condicionado del agua de riego, dependiendo del cultivo y del suelo específico que se trate.

### a. Características Físicas

Se consideran las sustancias que llevan en suspensión como: tierra (arena, limo, arcilla) y materia orgánica. Los materiales sólidos de mayor densidad que el agua contiene se eliminan por decantación y los materiales orgánicos con la filtración.

**Cuadro 4: Guía para la Interpretación del Agua de Riego (Ayres and Westcot, 1985. FAO)**

Problema Potencial	Unidades	Grado de Restricción de Uso		
		Ninguno	Ligero a Moderado	Severo
Salinidad (afecta la disponibilidad de agua al cultivo) C.E. ar* TSD	dS/m mg/l	< 0.7 < 450	0.7 – 3.0 450 – 2000	> 3.00 > 2000
Infiltración (afecta la tasa de infiltración del agua en el suelo) SAR = 0 – 3 y C.E. ar = 3 – 6 = 6 – 9 = 12 – 20 = 20 – 40		> 7 > 1.2 > 1.9 > 2.9 > 5.0	0.7 – 0.2 1.2 – 0.3 1.9 – 0.5 2.9 – 1.3 5.0 – 2.9	< 0.2 < 0.3 < 0.5 < 1.3 < 2.9
Toxicidad Ión Específico (afecta la sensibilidad del cultivo) Sodio (Na+) Cloro (Cl-) Boro (B)	SAR meq/l mg/l	< 3 < 4 < 0.7	3 – 9 4 – 10 0.7 – 3.0	> 9 > 10 > 3.0
Efectos Misceláneos (afecta la susceptibilidad del cultivo) Nitrógeno (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) pH	mg/l meq/l	< 5 < 1.5	5 – 30 1.5 – 8.5	>30 >8.5
	Rango Normal	6.5 – 8.4		

\* mmhos/cm = dS/m

### b. Características Químicas

#### - El pH del agua de riego

Indica la acidez o alcalinidad del agua de riego; el pH mayor que 8.0, es una limitante en el fertirriego, ya que hay peligro que se presenten precipitados de calcio y magnesio o de contribuir a que se incremente el pH del suelo a niveles en que los nutrientes no puedan aprovecharse.

- **Contenido de Sales**

El contenido total de sales trae como peligro la acumulación de sales solubles en el suelo, que puede generar problemas de presión osmótica, es decir producen dificultades de absorción de agua por las plantas.

Para la aplicación del agua debe considerarse la tolerancia de los cultivos a la salinidad, la textura del suelo y la posibilidad de lavado por drenaje natural o artificial.

- **Contenido de Sodio**

El sodio puede llegar a desplazar a iones de calcio y magnesio en el complejo de cambio, originando en el suelo pérdida de la estructura, haciéndolo impermeable.

- **Dureza del Agua**

La dureza del agua esta relacionada con la presencia de iones de calcio y magnesio; es la suma de las concentraciones de calcio y magnesio expresada en miligramos de carbonato de calcio por litro (mg CaCO<sub>3</sub>/l) o partes por millón de carbonato de calcio (ppm CaCO<sub>3</sub>).

- **Contenido de Iones Tóxicos**

Fundamentalmente afectan la susceptibilidad de un cultivo. Dañan el área foliar y disminuyen la capacidad fotosintética de la planta. Dentro de los iones más comunes tenemos el Sodio, Cloro y Boro.

#### IV. LOS FERTILIZANTES Y EL FERTIRRIEGO

##### 1. Contenido de Nutrientes del Fertilizante

Los fertilizantes contienen uno o más nutrientes según su formulación; la combinación con otros fertilizantes complementarios se hace para lograr las cantidades totales de nutrientes que se desee aplicar.

Un fertilizante es un compuesto químico y como tal es una sal inerte, sin carga; y que al entrar en contacto con el agua del suelo o de la solución se disocia dejando los nutrientes en forma iónica.

Ejemplo:

##### SALES INERTES

- Nitrato de Potasio KN<sub>3</sub>
- Fosfato Monoamónico NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>
- Nitrato de Amonio NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>
- Nitrato de Calcio Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>
- Sulfato de Magnesio MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O

##### IONES CARGADOS

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| K <sup>+</sup>               | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                |
| Ca <sup>++</sup>             | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                |
| Mg <sup>++</sup>             | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>                |

### Cuadro 5: Fertilizantes Solubles y su Contenido de Nutrientes (%)

PRODUCTO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	MgO	CaO	Otros
Nitratos de Amonio	33.5						
Sulfato de Amonio	21			24			
Nitrato de Calcio	15					26	
Urea	45						
Fosfatos Monopotásico		52	34				
Fosfato Monoamónico	12	61					
Acido Fosfórico		61					
Nitrato de Potasio	13.5		45				
Cloruro de Potasio			60				7 de Cl
Sulfato de Potasio			50	18			
Nitrato de Magnesio	11				9.6		
Sulfato de Magnesio				13	9.8		

## 2. Grado de Solubilidad del Fertilizante

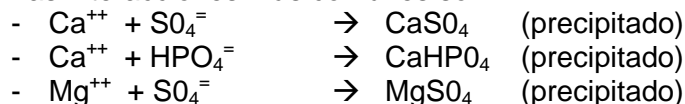
La solubilidad de un fertilizante es una de las características principales a tener en cuenta en el fertirriego. Los fertilizantes deben ser muy solubles y selectos en cuanto a su composición respecto a los nutrientes que aportan, para aprovecharla al máximo sin sobrepasar la concentración que puede tolerar el volumen del agua a regar.

La solubilidad de un producto está influenciada por tres factores: temperatura, presión y pH. La temperatura del agua, entonces juega un papel directo e importante en la solubilidad de un fertilizante (a mayor temperatura mayor solubilidad). Algunos fertilizantes al ser aplicados en el agua bajan la temperatura de esta; si se quiere agregar otro fertilizante, la solubilidad de este último se verá afectada; siendo conveniente esperar restablecer la temperatura inicial.

## 3. Compatibilidad de los Fertilizantes

Los fertilizantes son sales que en contacto con el agua se disocian formando iones (aniones y cationes); diferentes iones pueden interactuar en la solución y precipitar (formando compuestos insolubles), con el consiguiente riesgo de no estar disponibles para las raíces o con alto riesgo de taponar emisores, disminuyendo consecuentemente la eficiencia de aplicación de los fertilizantes y nutrientes.

Las interacciones más comunes son:



Los micronutrientes por otro lado, pueden reaccionar con las sales del agua de riego formando precipitados, por lo tanto, es recomendable aplicarlos en forma quelatada.

## 4. Índice de Salinidad del Fertilizante

El índice de salinidad de un fertilizante es la relación del aumento de la presión osmótica de la solución suelo, producida por un fertilizante y la presión osmótica producida por la misma cantidad de nitrato de sodio (basado en 100).

Este índice sirve para establecer una clasificación de los abonos, con miras a evitar accidentes después de su utilización tales como: localización exagerada, exceso, etc y con ello, contribuir a la mejor solución y uso del fertilizante.

## 5. Índice de Acidez del Fertilizante

El índice de acidez, es el número de partes en peso de calcáreo ( $\text{CaCO}_3$ ) necesario para neutralizar la acidez originada por el uso de 100 unidades de material fertilizante.

Es muy importante el conocimiento de estos índices porque las sales (fertilizantes) ejercen gran influencia sobre el pH o reacción del suelo y por ende, la disponibilidad y absorción de nutrientes que afectan el desarrollo de la planta.

### CUADRO 6: Características importantes de los fertilizante solubles más comunes en fertirriego (adaptado de: Burt et.al. 1998).

FERTILIZANTE	Solubilidad (g/litro)*	Índice de Salinidad	Índice de Acidez	Índice de Basicidad
Nitrato de sodio		100		29
Nitrato de amonio	1830	105	60	
Sulfato de amonio	706	69	110	
Urea	1000	75	80	
Nitrato de calcio	1212	53		21
Fosfato monopotásico	230	8		
Fosfato monoamónico	630	30	55	
Nitrato de potasio	320	74		
Cloruro de potasio	347	114	116	23
Sulfato de potasio	120	46		
Nitrato de magnesio	280			
Sulfato de magnesio	710	44		
Amonia anhidra	380	47	148	
Acido fosfórico	475			
Acido sulfúrico				

\* medida a 20°C

## V. EL CULTIVO Y EL FERTIRRIEGO

### 1. Los elementos esenciales para la planta.

Son 16 elementos químicos (nutrientes) que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Tres elementos; carbono, oxígeno e hidrógeno son tomados por las plantas del aire y del agua; los trece restantes provienen del suelo y se denominan minerales. Dentro de ellos distinguimos a los macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Calcio y Magnesio) y los micronutrientes (Hierro, Cobre, Manganeso, Zinc, Molibdeno, Cloro y Boro).

**Cuadro 7: Elementos Esenciales para todas las Plantas  
(consolidado de: Tisdale, et.al., 1993)**

Elemento	Símbolo	Forma Iónica	% P.S.	Fuente	Clasificación
Carbono	C		89	Aire	Macronutriente
Oxígeno	O			Aire	Macronutriente
Hidrógeno	H			Aire	Macronutriente
Nitrógeno	N	$\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$	4.0	Suelo/aire	Macronutriente
Fósforo	P	$\text{HPO}_4^-$ , $\text{H}_2\text{PO}_4^-$	0.5	Suelo	Macronutriente
Potasio	K	$\text{K}^+$	4.0	Suelo	Macronutriente
Azufre	S	$\text{SO}_4^-$ , $\text{SO}_3^-$	0.5	Suelo	Secundario
Magnesio	Mg	$\text{Mg}^{++}$	0.5	Suelo	Secundario
Calcio	Ca	$\text{Ca}^{++}$	1.0	Suelo	Secundario
Boro	B	$\text{BO}_3^-$ , $\text{HBO}_3^-$	0.006	Suelo	Micronutriente
Hierro	Fe	$\text{Fe}^{++}$ , $\text{Fe}^{+++}$	0.02	Suelo	Micronutriente
Manganeso	Mn	$\text{Mn}^{++}$	0.02	Suelo	Micronutriente
Molibdeno	Mo	$\text{MoO}_4^-$	0.0002	Suelo	Micronutriente
Cobre	Cu	$\text{Cu}^{++}$	0.001	Suelo	Micronutriente
Zinc	Zn	$\text{Zn}^{++}$	0.003	Suelo	Micronutriente
Cloro	Cl	$\text{Cl}^-$	0.1	Suelo	Micronutriente
Sodio	Na	$\text{Na}^+$	0.03	Suelo	

% P.S. = Típico Contenido de nutriente en la Planta expresado en % del Peso Seco

Cuando un suelo no proporciona alguno de estos nutrientes en la cantidad suficiente que la requerida por las plantas, es necesario aplicarlo a través de un fertilizante que contenga dicho nutriente y que no permita la disminución del rendimiento y/o calidad de las cosechas. Dentro de este esquema podemos resaltar la importancia de los cinco principales nutrientes:

El nitrógeno es importante en:

- Formación de clorofila.
- Producción fotosintética de carbohidratos.
- Síntesis de proteínas.

El fósforo es importante en:

- Transferencia de energía dentro del tejido celular.
- Composición de cromosomas, DNA, RNA
- Desarrollo radicular

El potasio es importante en:

- Síntesis de proteínas, carbohidratos, clorofila
- Traslocación y almacenamiento de carbohidratos

### El calcio es importante en:

- La formación de pectatos de calcio que actúan en el proceso de absorción de nutrientes.
- Forma sales con los ácidos orgánicos e inorgánicos, regulando la presión osmótica de las células.

### El magnesio es importante en:

- Forma parte de la molécula de clorofila, la cual produce la síntesis de carbohidratos.
- Es un activador enzimático

Finalmente, la absorción de los nutrientes por la planta está determinado no sólo por la “disponibilidad” de los nutrientes contenidos en el suelo, sino también por el suministro de estos a la superficie radicular.

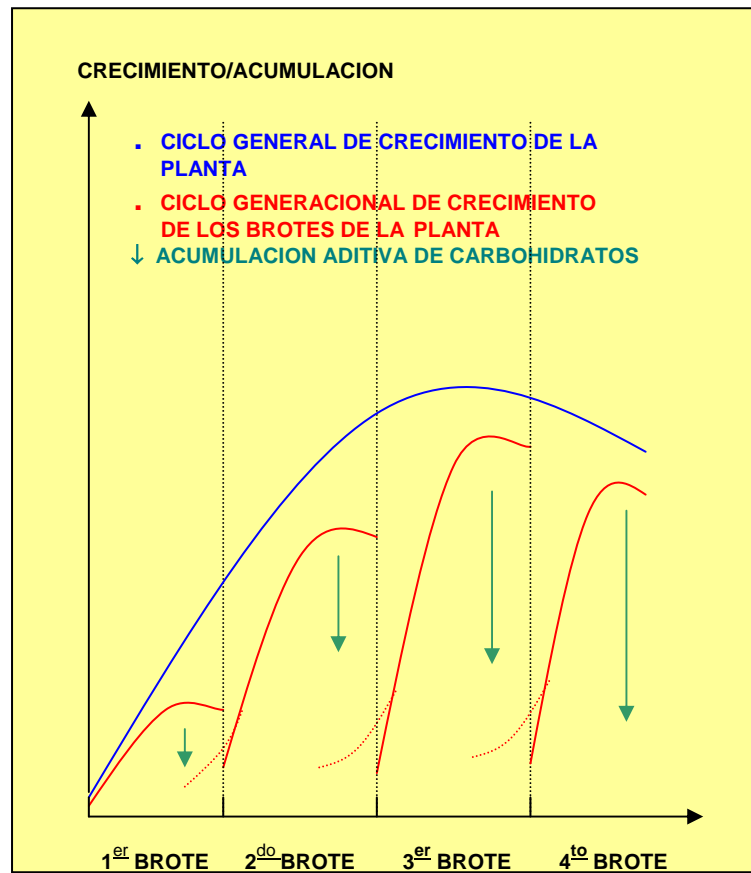
## **2. Fenología del Espárrago**

Dentro del cultivo de espárrago se deben considerar dos aspectos en la vida de la planta. El ciclo de vida total; caracterizado por tres etapas; (a) de implantación o crecimiento activo (predominantemente crecimiento radical), (b) producción o máximo rendimiento (mayor demanda de agua y nutrientes) y (c) de producción decreciente (disminución paulatina del rendimiento). El ciclo de vida anual puede dividirse en dos, dependiendo del número de cosechas al año.

Es muy difícil establecer en el cultivo de espárrago estados cronológicos para las diferentes etapas, toda vez que cada brotación es un pequeño ciclo de vida, que contribuye en forma aditiva en la acumulación de reservas y por lo tanto, en la producción de cosechas; Cada generación de brotes además, está influenciada directamente por la temperatura y la humedad del suelo. Teniendo en cuenta este comportamiento de la planta, en fertirriego se puede hacer inclusive una fertilización diferencial para cada brote.

Sin embargo, es más conveniente hasta ahora tomar en cuenta el aspecto de acumulación aditiva de carbohidratos para en función de ello, elaborar un programa de nutrición de la planta, con miras a obtener, en la última etapa una mayor traslocación y acumulación de carbohidratos y consecuentemente una mejor cosecha.

En condiciones de temperaturas muy altas (caso fenómeno del niño) ocurre que existe emergencia de nuevos brotes cuando el anterior aún no ha terminado de madurar y por lo tanto no ha terminado de traslocar, disminuyendo consecuentemente la tasa de acumulación, aumentando el número de brotes.



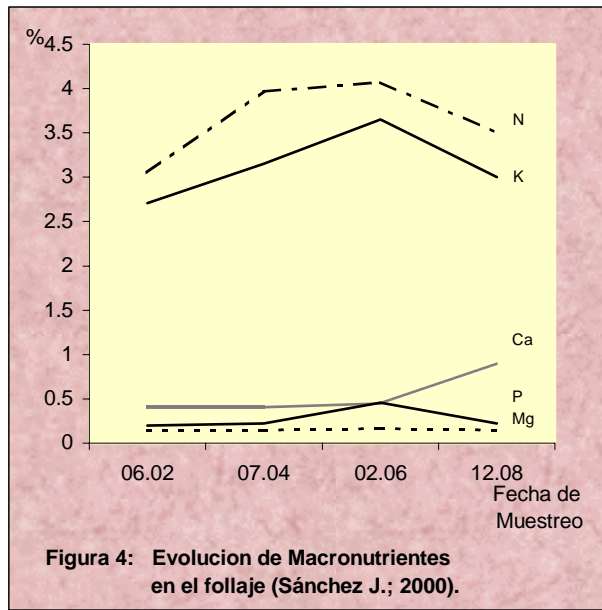
**Figura 3: Curva de crecimiento/acumulación de reservas de una esparraguera en función del tiempo (Sánchez, J.; 1997)**

### 3. Extracción de Nutrientes

En el Perú se han realizado varios ensayos de extracción de nutrientes. Aunque bajo el sistema de riego por goteo se coincide en la extracción total, esta no se ve reflejada en los rendimientos, que son muy diferentes y esto es atribuible al manejo de los programas de fertirrigación y fenología del cultivo.

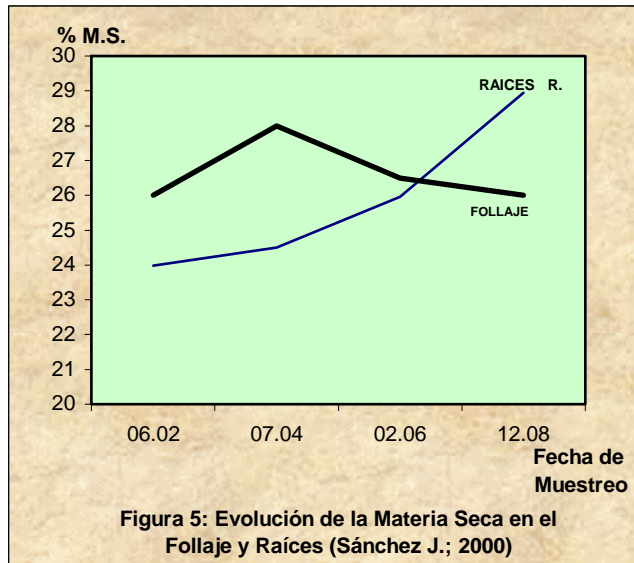
Debido a esta gran variabilidad en la respuesta de la planta en los rendimientos, es conveniente manejar aquí el índice de cosecha, que es la relación entre la extracción de la materia seca de follaje y la extracción de la materia seca del turión (cosechado); esta relación siempre debe tender a 1 pero, con rendimientos altos. En estas condiciones podemos decir que hemos tenido una planta eficiente ya que el rendimiento en kilogramos de producto cosechado es alto, consecuentemente el costo del fertilizante se hace más barato.

Según Sánchez (2000), como se aprecia en la figura 4, el ritmo de absorción del Nitrógeno, Fósforo y Potasio, muestran un aumento progresivo desde el inicio de la estación hasta el tercer brote, decayendo ligeramente hacia el cuarto brote; sin embargo, estos cambios no fueron grandes a pesar que la plantación recibió un suministro constante de nutrientes.



En cuanto al Calcio, la absorción es ligeramente mayor en cada uno de los tres primeros brotes y luego significativamente superior en el cuarto brote, lo que prueba su poca movilidad en la planta y luego su posterior acumulación. Esto debido a que este elemento fue aplicado en su totalidad en la primera mitad del periodo de crecimiento. El magnesio, muestra comportamiento constante durante toda la estación de crecimiento del cultivo.

La materia seca en general, según el mismo autor, no tiene gran variabilidad durante la campaña; sin embargo, en el follaje, muestra un incremento en el segundo brote disminuyendo gradualmente hacia el tercero y cuarto brote, próximo a la cosecha.



En cuanto a la materia seca de las raíces reservantes, estas muestran un incremento gradual durante la campaña llegando a ser más creciente hacia el cuarto brote, significando una mayor acumulación de carbohidratos. Esto coincide con varios reportes que señalan además que este contenido baja drásticamente hacia finales de la cosecha (figura 5).

Los pequeños incrementos en el contenido de materia seca en la raíz, confirman que existe una acumulación aditiva de reservas en cada generación de brotes (Sánchez, 1997).

Como se puede apreciar en el cuadro 8, el mismo autor señala que, las extracciones finales (follaje más turiones) fueron del orden de 222.21, 78.30 y 224.43 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O respectivamente, para una cosecha de 11900 kg/ha de producto comercial, lo que resulta en una extracción de 18.67, 4.02 y 18.85 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O respectivamente por tonelada de turiones comerciales; estas relaciones guardan cierta similitud con las reportadas por Román (1996) y Sánchez (2000). Los mismos autores coinciden además, que para el espárrago en la mayoría de condiciones, la extracción de Nitrógeno y Potasio (K<sub>2</sub>O) son muy similares, siendo la extracción de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) entre la tercera y cuarta parte de los anteriores.

Las eficiencias obtenidas para N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O fueron de 85.42, 65.25 y 89.77% respectivamente, atribuyéndose estas altas eficiencias a la fertirrigación diaria (Sánchez, 1998).

**Cuadro 8: Extracción de Macronutrientes en turiones, follaje, total y porcentaje de eficiencia del uso del fertilizante aplicado (Sánchez, J.; 2000).**

Elemento	Extracción Turiones (kg/ha) 1	Extracción Follaje (kg/ha) 2	Extracción Total (kg/ha)	Corregido (kg/ha)	Aplicado Total (kg/ha)	Eficiencia Total (%)
<b>N</b>	29.42	192.79	222.21	222.21	260.0	85.42
<b>P</b>	3.03	31.17	34.20	78.30	120.0	65.25
<b>K</b>	22.21	164.12	186.33	224.43	250.0	89.97
<b>Ca</b>	2.85	30.54	33.39	46.74	40.0	116.86
<b>Mg</b>	1.90	17.86	19.76	32.80	20.0	164.00

Rendimiento Turiones Exportables	11900 kg/ha	(\$1.00/kg)
(1) Rendimiento Turiones de Campo	14000 kg/ha	(6.78 % M.S.)
(2) Rendimiento Follaje Total	24967 kg/ha	(29.80% M.S.)
(2)/(1) Relación M.S. Follaje / M.S. Turiones		7.83

Tanto el Calcio como el Magnesio mostraron una eficiencia de extracción superior al 100%, evidenciándose aquí el aporte de estos nutrientes vía enmiendas (yeso) y del agua de riego fundamentalmente. Es importante resaltar que de la extracción total, el follaje obtuvo un 86.7, 91.1 y 88.0 %, para los elementos mayores respectivamente, de allí la importancia de su incorporación al mismo terreno después del chapodo a efectos de reciclar los nutrientes en cada campaña.

## VI. EL RIEGO Y EL FERTIRRIEGO

### 1. El Agua en el Suelo

El suelo, visto como “un todo” está constituido por una fracción sólida (minerales y materia orgánica) y un espacio poroso (macroporos = espacio reservado para el aire, microporos = espacio reservado para el agua).

La capacidad de almacenamiento de agua de un suelo está directamente influenciado por la textura del suelo. El agua del suelo está relacionada a los coeficientes hídricos: Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP), Agua Disponible (AD) y Agua Aprovechable (AP).

Bajo condiciones de riego por gravedad es conveniente “reservar” un tercio de la capacidad de campo (Punto de Marchitez Temporal) como soporte e índice de aplicación de un nuevo riego. Sin embargo, bajo condiciones de riego por goteo, una vez que el suelo (zona de raíces) ya está a Capacidad de Campo, es conveniente regar de acuerdo a la demanda diaria de cultivo. Esta demanda está influenciada directamente por la capacidad de almacenamiento del suelo, las condiciones del clima, el estado fenológico del cultivo y la eficiencia del sistema. La dosificación diaria de agua de riego puede ser programada siguiendo los lineamientos del Software CropWat versión 7.0 de FAO (Smith, 1993).

## 2. Necesidades de Riego del Cultivo

### a. Evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>)

Como su nombre lo indica, es la suma de las pérdidas de agua por evaporación (suelo) y transpiración (planta). Existen varios métodos para determinar la ET<sub>o</sub>, siendo el más práctico el tanque de evaporación clase "A". Existe método de Penman & Monteith, adoptado por FAO mediante el programa de CropWat (Smith, 1982) que es el resultado de las variables climáticas: temperatura, humedad relativa, horas de sol y velocidad del viento; sin embargo, para esto se requiere de la ayuda de un programa de cómputo.

### b. Coeficiente de evapotranspiración del Cultivo (K<sub>c</sub>)

Es la fracción (%) de pérdida de agua a que está expuesto el cultivo durante sus distintos estados de desarrollo. El K<sub>c</sub> está influenciado directamente con el área foliar (capacidad de Evapotranspiración).

Para nuestras condiciones (Perú), observaciones realizadas en varios puntos de la costa, indican que esta fracción no debe ser menor a 0.80 en los dos primeros estadios y debe ser igual a 1.0 en los dos últimos. Estas observaciones coinciden con otras latitudes del hemisferio norte.

### c. Evapotranspiración del Cultivo (ET<sub>c</sub>)

Es el producto de la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) y el coeficiente de Evapotranspiración (K<sub>c</sub>):

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

### d. Necesidades de Riego (NR)

Bajo condiciones de cero precipitación (caso de la costa de Perú); la Necesidad de Riego Netos (NR<sub>n</sub>) es igual a la evapotranspiración del Cultivo (ET<sub>c</sub>).

$$ET_c = NR_n$$

En tanto que las Necesidades de Riego Totales (NR<sub>t</sub>) son calculadas tomando en cuenta la eficiencia del sistema:

$$NR_t = NR_n \times \frac{100}{E_f} = ET_c \times \frac{100}{E_f}$$

Para las condiciones de la costa peruana, y bajo sistemas de riego por goteo, la demanda total de agua por el cultivo de espárrago fluctúa entre: 16000 – 22000 m<sup>3</sup>/ha/año, dependiendo de los microclimas.

### 3. Coeficiente de Uniformidad de Riego (CU)

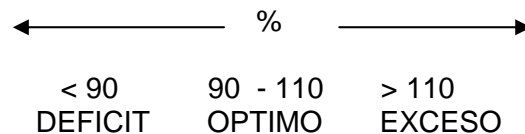
Teniendo en cuenta que vamos a aplicar el fertilizante en el agua de riego, la eficiencia en la disponibilidad del nutriente estará en función directa de la eficiencia en la uniformidad del riego. El coeficiente de uniformidad de Christiansen, es un método rápido y práctico para determinar la uniformidad del riego y está expresado por:

$$CU = 100 \left( 1 - \frac{\sum [x]}{m \cdot n} \right)$$

donde:

$\sum [x]$  = Suma de las desviaciones respecto al promedio  
 m = Valor promedio  
 n = número de observaciones

Clasificación:



## VII. PROGRAMACIÓN DEL FERTIRRIEGO

### 1. Consideraciones Generales de Cantidad e Intensidad.

La mejora mejora y optimización bajo el sistema de riego por goteo comparado con el de aspersión y la fertilización al suelos se debe a diferentes factores (IPI, 1995):

- a. Aplicación adecuada y uniforme bajo diferentes circunstancias.
- b. Aplicación de nutrientes solamente en la zona humedecida, donde se encuentran concentradas las raíces más activas
- c. Facilidad de adaptación de cantidades y concentraciones de nutrientes específicos para el requerimiento de los cultivos de acuerdo al estado fenológico y condiciones climáticas.
- d. El follaje del cultivo se mantiene seco, retardando el desarrollo de patógenos y se evitan quemaduras de hojas.
- e. Uso conveniente de fertilizantes compuestos solubles y fertilizantes líquidos balanceados con cantidades pequeñas de elementos menores los cuales son muy difíciles de aplicar adecuadamente en el campo.

### 2. Operaciones y Calibración

La calibración de un sistema de fertirriego incluye los siguientes pasos:

**a. Determinar y calcular de la fórmula química**

Esto se hace en base a los rendimientos obtenidos (o esperados) y la extracción de nutrientes por el cultivo.

- **Para Sólidos:  $R_f = (N \times 100)/C_n$**   
 $R_f$  = Requerimiento fertilizante (kg/ha)  
 $N$  = Nutriente recomendado (kg/ha)  
 $C_n$  = Concentración del nutriente (%)
- **Para Líquidos:  $V_f = R_f / PE$**   
 $V_f$  = Volumen fertilizante (l/ha)  
 $R_f$  = Requerimiento del fertilizante (kg/ha)  
 $PE$  = Peso Específico (kg/l)

**b. Determinar el área a ser tratada**

Un módulo de fertirriego puede contener desde una fracción de hectárea hasta muchas hectáreas.

$$F_t = D \times A$$

$F_t$  = Fertilizante por turno (kg/l)  
 $D$  = Dosis de fertilizante (kg/ha o l/ha)  
 $A$  = Area (ha)

**c. Determinar el volumen de solución a ser aplicada por unidad de fertirriego.**

Aquí se debe tener en cuenta la cantidad y tipo de fertilizante y la capacidad del tanque fertilizador.

- **Concentración de la Solución Fertilizante:  $C = Q / Q_b$**   
 $C$  = Concentración de la solución fertilizante (m<sup>3</sup>/l)  
 $D_s$  = Descarga del sistema de riego (m<sup>3</sup>/ha)  
 $Q_b$  = Descarga de la bomba (l/h)
- **Dilución de la Solución Fertilizante:  $R_d = R_c \times C_f \times 100$**   
 $R_d$  = Relación de dilución (%)  
 $R_c$  = Relación de concentración (m<sup>3</sup>/l)  
 $C_f$  = Conc. requerida de fertilizante en el agua de riego (l/ m<sup>3</sup>)

**d. Determinar la duración de inyección**

Se debe tener en cuenta aquí la relación que existe entre el tiempo de inyección y el tiempo total de riego.

- **Del Tanque:  $Q = V_a / T$**   
 $Q$  = Tasa de inyección (l/h)  
 $V_a$  = Volumen de agua (l)  
 $T$  = Tiempo de fertilización (min)
- **De la Bomba:  $Q_b = V_s \times D_s$**   
 $Q_b$  = Descarga de la bomba (l/h)  
 $V_s$  = Volumen de solución fertilizante (l/m<sup>3</sup>)  
 $D_s$  = Descarga del sistema de riego (m<sup>3</sup>/ha)

## FERTITEC S.A. Programa de Fertilización para Espárrago Una Cosecha al Año

Dosis kg/ha:

320 N	50 CaO
160 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30 MgO
320 K <sub>2</sub> O	

Programa calculado por hectárea

Fertilizante	1 <sup>er</sup> Periodo: 90 días			2 <sup>do</sup> Periodo: 65 días			3 <sup>er</sup> Periodo: 90 días		
	fertirrigación: 45 días			fertirrigación: 30 días			fertirrigación: 45 días		
	% Dosis: 40 N - 40 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 20 K <sub>2</sub> O 30 CaO - 30 MgO			% Dosis: 30 N - 30 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 30 K <sub>2</sub> O 40 CaO - 40 MgO			% Dosis: 30 N - 30 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 50 K <sub>2</sub> O 30 CaO - 30 MgO		
	kg. Fertilizante	kg. Nutriente	kg. Fert./Riego	kg. Fertilizante	kg. Nutriente	kg. Fert./Riego	kg. Fertilizante	kg. Nutriente	kg. Fert./Riego
Urea	259.45	128.00	8.07	183.61	96.00	7.14	189.88	96.00	5.93
Ac. Fosfórico	104.92	64.00	3.26	78.69	48.00	3.06	78.69	48.00	2.46
Sulfato de Potasio	128.00	64.00	3.98	192.00	96.00	7.47	320.00	160.00	10.00
Nitrato de Calcio	57.69	15.00	8.61	76.92	20.00	17.93	57.69	15.00	9.01
Sulfato de Magnesio	56.25	9.00	1.75	75.00	12.00	2.92	56.25	9.00	1.34
Acido Bórico	3.00	-	0.45	4.00	-	0.93	3.00	-	0.47
TRADECORP A-Z	2.50	-	0.37	3.10	-	0.72	2.50	-	0.39
<b>Productos Líquidos</b>	Litros	Nro. Aplicac	Lt/ha/aplicación	Litros	Nro. Aplicac	Lt/ha/aplicación	Litros	Nro. Aplicac	Lt/ha/aplicación
HUMISTAR	25.00	32.00	0.78	20.00	25.00	0.80	20.00	32.00	0.63
RUTER AA	10.00	10.00	1.00	-	-	-	-	-	-
TRAFOS-K	2.00	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-

Se asume riego diario

Aplicaciones Foliars:

Producto	Dosis (cc/cil)	Numero Aplicaciones	Momento de Aplicación	Promedio de cilindros por aplicación
DELFIN	400	5	Dos al primer brote, dos al segundo brote y una al tercer brote	2.5

Requerimiento de Productos

Producto/Fertilizante	kg/ha ó lt/ha
Urea	632.94
Ac. Fosfórico	262.30
Sulfato de Potasio	640.00
Nitrato de Calcio	192.31
Sulfato de Magnesio	187.50
Acido Bórico	10.00
TRADECORP A-Z	8.10
<b>Productos Líquidos</b>	
HUMISTAR	65.00
RUTER AA	10.00
TRAFOS-K	2.00
<b>Aplicaciones Foliars:</b>	
DELFIN	5.00

Observaciones:

- 1.- El Nitrato de Calcio y el ácido bórico se aplican solo los Sábados.
- 2.- Los macroelementos van de Lunes a Viernes.
- 3.- El HUMISTAR y el RUTER AA se aplican en forma diaria, de Lunes a Viernes, en los periodos indicados.
- 4.- El Tradecorp AZ va una sola vez por semana.
- 5.- Los Domingos solo se riega.
- 6.- Una vez acabada la fertirrigación, los campos se mantendrán solo con agua.



### VIII. LITERATURA CONSULTADA

ASAF, A. (1990). Fertigation in greenhouses on sand dunes. Water and Irrigation Review. pp 25-28.

AYRES, R.S and D.W. WESTCOT. (1985). Water quality for Agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper. 29 Rev 1. 174 pp.

BENAGES, S.S. (1990). El Espárrago. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 223p.

BURT, C.; K. O'CONNOR; T. RUEHER (1998). Fertirrigación. ITRC. California Polytechnic State University. 295p.

CROP KING (1990). Fertigation. Information Bulletin. Reference material to build understanding. 6 p.

DA COSTA, E.F.; R. FARIA; P.A. VIANA (1994). Quinigacáo. EMBRAPA. Brasília. 315p

IPI (1995). Fertirrigated vegetables in arid and semi-arid zones. Nutrient and Fertilizer Management in Field Grown Vegetables. International Phosphate Institute.

MAAS, E.V. (1984). Salt tolerance of plants. In: The Handbook of Plant Science in Agriculture. D.R. Christie (ed). CRC Press.

NATHAN, R (1997). La fertilización combinada con el riego. Estado de Israel. Ministerio de Agricultura. 59 p.

NATIONAL ACADEMY PRESS (1990). Saline Agriculture. Salt Tolerant Plants for Developing Countries. National Research Council. Washington. 143 p.

NICHOLS, M. (1997) Some Insights Into Asparagus Phisiology on Wath Makes the Plant Tick?. Proceeding: 1<sup>st</sup> National Asparagus Convention. Mildura. Australia. July 19-22.

ROMAN, S. (1996). Nutrición vegetal y fertilización del espárrago en la Costa Peruana. En: Resúmenes del Simposium Internacional sobre la Industria del Espárrago en el Perú. 27 al 29 Ago. Ica.

SANCHEZ, J. (1992). Requerimiento de suelo, nutrición mineral y fertilización del cultivo de espárrago. Seminario: Tecnologías Modernas en el Cultivo y Procesamiento del Espárrago. TTA-UNALM. Ica, 10 y 11 dic. 35 p.

SANCHEZ, J. (1997). Algunos aspectos fisiológicos en la demanda de agua y nutrientes del espárrago. Inagro Sur/Lee Brands LLC. 10 p (no publicado).

SANCHEZ, J. (2000). Extracción de Nutrientes y evolución de carbohidratos (por materia seca) en el Cultivo de espárragos. 1er. Congreso Nacional Técnico del Espárrago. Instituto Peruano del Espárrago. Memorias, disquete 3.5 Lima, 14 Y 15 de agosto.

SÁNCHEZ, J. (2000 a). Fertirrigación: Principios, Factores y Aplicaciones. Seminario de Fertirrigación. APUKAI-COMEX. Lima, 28 febrero. 29p.

SANCHEZ, J. and A. CASAS (1997). Asparagus in de Peruvian coastal region: Present and Future. Proceeding of the Ninth International Asparagus Symposium. Acta Horticulturae No. 479. pp 57-61.

SMITH, M. (1993). CropWat. Programa de ordenador para planificar el riego. Estudio FAO. Riego y Drenaje 46. 133p + Disquete 3.5'

TISDALE, S.L.; W.L. NELSON; J.D. BEATON and J.L. HAVLIN (1993). Soil Fertility and Fertilizers. Mc. Millan Publishing Company. Fifth Edition. N.Y. 633p

WEIR, R.G.; P.J. SINCLAIR and L.L. MUTTON (1985). Nutrient levels in Asparagus Cladophylls from crops. In: N.S.W., Australia. Asparagus Research Newsleter. Vol 1(5):1-4

J. Sánchez  
12/Mayo/03