

# **INTRODUCCIÓN A LA FERTILIZACIÓN CON MICROELEMENTOS**

**WELGRO MICROMIX**

**INTRODUCCIÓN A LA  
FERTILIZACIÓN CON  
MICROELEMENTOS**

**COMERCIAL QUÍMICA MASSÓ, S.A.**

***DIVISIÓN AGRO***

Departamento Técnico

Autor: Albert Virgili

Ingeniero Agrónomo

Barcelona, Julio 1994

2ª Edición Octubre 1996

# CAPÍTULO 1

## MICROELEMENTOS ESENCIALES

### 1. NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS

**Nutrición vegetal** es el proceso mediante el cual la planta absorbe del medio que le rodea las sustancias necesarias para llevar a cabo su metabolismo y en consecuencia, crecer y desarrollarse.

Una característica particular de las plantas verdes es que las sustancias requeridas para su alimentación son exclusivamente de tipo mineral o inorgánicas.

Se definen como **elementos nutritivos** a los elementos químicos que son absolutamente **esenciales** (imprescindibles) para el desarrollo completo del ciclo vegetativo de la planta.

**Elemento esencial** es el que:

1. Su falta impide completar el ciclo vegetativo de la planta.
2. Su falta sólo puede ser corregida suministrando dicho elemento y no otro.
3. Está relacionado directamente con la nutrición de la planta, por ser constituyente de alguna sustancia esencial, o por participar en funciones vitales de la planta.

### 2. ELEMENTOS ESENCIALES

Se ha demostrado por diferentes investigadores la esencialidad de los elementos químicos que se relacionan en la Tabla 1.

**TABLA 1.**

**Concentraciones de los elementos esenciales consideradas aceptables para la mayoría de las plantas.**

Elemento	Símbolo	Forma disponible	Peso atómico	$\mu\text{m}$	Concentración en tejido seco %	Número relativo de átomos comparados con molibdeno
Hidrógeno	H	H <sub>2</sub> O	1,01	60.000	6	60.000.000
Carbono	C	CO <sub>2</sub>	12,01	450.000	45	35.000.000
Oxígeno	O	O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	16,00	450.000	45	30.000.000
<b>Macronutrientes</b>						
Nitrógeno	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	14,01	15.000	1,5	1.000.000
Potasio	K	K <sup>+</sup>	39,10	10.000	1,0	250.000
Calcio	Ca	Ca <sup>++</sup>	40,08	5.000	0,5	125.000
Magnesio	Mg	Mg <sup>++</sup>	24,32	2.000	0,2	80.000
Fósforo	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	30,98	2.000	0,2	60.000
Azufre	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	32,07	1.000	0,1	30.000
<b>Micronutrientes</b>						
Cloro	Cl	Cl <sup>-</sup>	35,46	100	0,01	3.000
Boro	B	Bo <sub>3</sub> <sup>-</sup> , B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	10,82	20	0,002	2.000
Hierro	Fe	Fe <sup>+++</sup> , Fe <sup>++</sup>	55,85	100	0,01	2.000
Manganeso	Mn	Mn <sup>++</sup>	54,94	50	0,005	1.000
Zinc	Zn	Zn <sup>++</sup>	65,38	20	0,002	300
Cobre	Cu	Cu <sup>++</sup> , Cu <sup>+</sup>	63,54	6	0,0006	100
Molibdeno	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	95,95	0,1	0,00001	1

Fuente: Salisbury, F.B., y C. Ross. 1969. *Plant Physiology*, Belmont, Calif.: Wadsworth, p. 194.

A estos 16 elementos esenciales para todas las plantas superiores, podrían añadirse algunos otros, tales como el Sodio (Na), el Silicio (Si), el Cobalto (Co) y Selenio (Se), que sólo parecen ser esenciales para algunas especies.

### **3. CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS ESENCIALES**

De los 16 elementos nutritivos, los tres primeros se hallan libremente a disposición de la planta en el aire, anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>), y por medio del agua (H<sub>2</sub>O) que absorbe. De aquí que normalmente se consideren como elementos nutritivos o fertilizantes los 13 restantes.

Los **elementos nutritivos** se clasifican según la cantidad utilizada por la planta y la frecuencia con que en la práctica es necesaria su aportación al cultivo. Según este criterio podemos distinguir los siguientes grupos:

a) **MACROELEMENTOS:** Nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio. Son los absorbidos por la planta en mayores cantidades.

Según la frecuencia de aplicación a los cultivos:

- **Macroelementos** primarios: nitrógeno, fósforo y potasio.
- **Macroelementos** secundarios: Azufre, calcio y magnesio.

b) **MICROELEMENTOS:** Hierro, cobre, zinc, manganeso, molibdeno y boro. Son elementos que se absorben en cantidades mínimas.

### **4. MICROELEMENTOS EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA**

Las plantas cubren sus necesidades de agua y microelementos minerales a partir de la solución del suelo. En un cultivo hidropónico, sin suelo, las plantas se nutren a partir de la solución nutritiva; así pues, para entender la relación planta-solución nutritiva en un sistema hidropónico, debemos estudiar igualmente la relación planta-suelo en un cultivo convencional.

#### **4.1. ESTADOS DE LOS MICROELEMENTOS FERTILIZANTES EN LOS SUELOS**

Los microelementos se encuentran en el suelo bajo los siguientes estados:

1. **Solubilizados en agua:** En la solución del suelo.
2. **Intercambiables:** Iones enlazados por cargas eléctricas de las partículas del suelo.
3. **Adsorbidos, quelatados, formando complejos:** La mayor parte de los microelementos son metales pesados, capaces de formar complejos con agentes complejantes o quelatantes de la materia orgánica del suelo.
4. **Minerales secundarios de las arcillas y óxidos metálicos insolubles.**
5. **Minerales primarios:** Componentes de la roca madre.

Los tres primeros grupos constituyen la fracción de microelementos asimilables para las plantas. Estos tres grupos se encuentran en equilibrio, de tal forma que un cambio en la concentración de uno de ellos conlleva una variación en las concentraciones de los otros.

Los microelementos precipitados como el Fe y Mn en forma de óxidos, pueden representar cantidades notables, y constituyen una fracción que puede transformarse en asimilable.

Los microelementos adsorbidos en la estructura cristalina de los minerales arcillosos o que son constituyentes propios de esta estructura, no son asimilables para las plantas.

## 4.2. PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN LA ASIMILACIÓN DE LOS MICROELEMENTOS

Los principales factores que influyen sobre la asimilación de los microelementos son:

- pH
- Materia orgánica
- Textura
- Actividad microbiana
- Condiciones climáticas
- Condiciones de Redox
- Interacciones entre elementos nutritivos

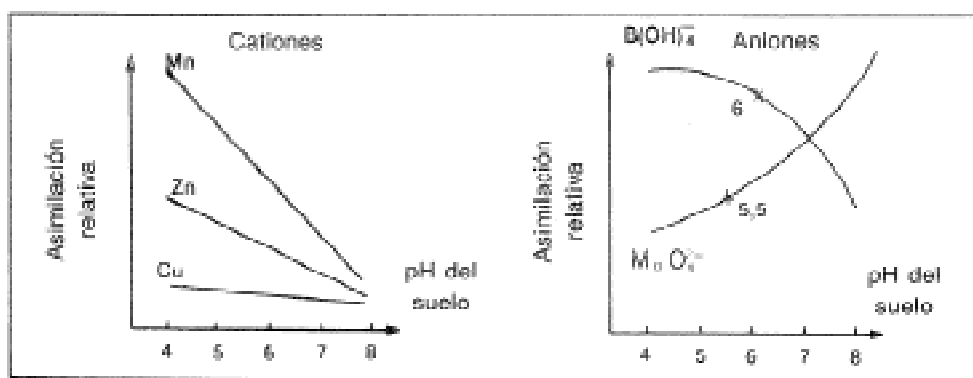
### 4.2.1. pH DEL SUELO

Un aumento del pH reduce la solubilidad y la absorción de Cu, Fe, Zn y muy marcadamente del Mn. Por otro lado aumenta la solubilidad y absorción del Mo.

En la Figura 1 puede verse la representación esquemática de las grandes tendencias de la solubilidad con relación al pH de la solución.

**FIGURA 1,**

**Relación entre la asimilación de microelementos y el pH del suelo.**



Mn, Cu, Zn son afectados en grados diversos, la influencia mayor es para Mn, mediana para Zn y menor para Cu.

Para los microelementos aniónicos, el aumento del pH disminuye la disponibilidad del B. El Molibdeno es el único microelemento cuya asimilación aumenta cuando el pH crece.

De todo lo expuesto puede deducirse que **el pH del suelo tiene un efecto muy importante sobre la asimilación de los microelementos aportados por fertilización.**

### 4.2.2. MATERIA ORGÁNICA

La **materia orgánica del suelo está dotada de propiedades complejantes para cationes.** Forma combinaciones con los iones metálicos, como los quelatos, que son complejos órgano-metálicos estables, donde el metal es insertado en una molécula complejante o quelatadora que adopta una forma curvada en anillo o pinza en torno al ión metálico.

Los compuestos orgánicos del suelo con poder quelatante son numerosos: sustancias bioquímicas provenientes de organismos vivos (ácidos orgánicos, polifenoles, aminoácidos, proteínas, polisacáridos) así como polímeros complejos (ácidos húmicos y fúlvicos).

Los complejos solubles corresponden sobre todo a combinaciones con moléculas bioquímicas, como los ácidos orgánicos y ácidos fúlvicos.

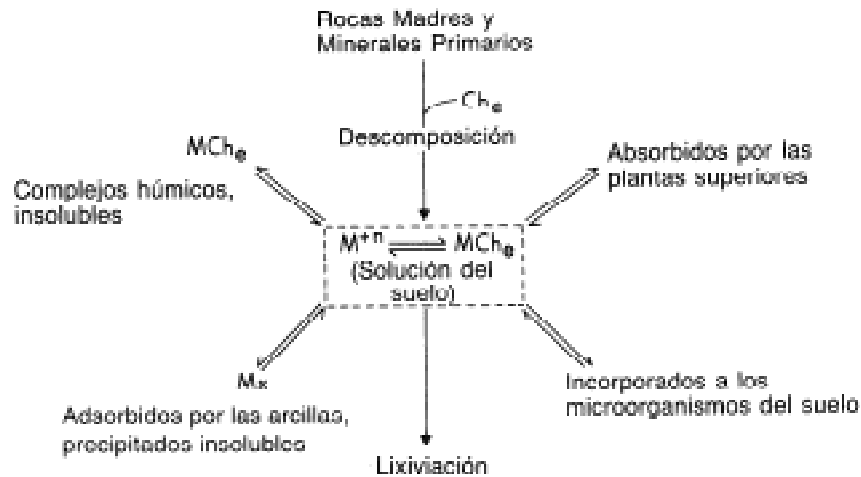
Los complejos insolubles intercambiables corresponden sobre todo a los ácidos húmicos.

El gran interés de los fenómenos de quelatación proviene de que los microelementos metálicos pueden ser mantenidos en solución, o sea, en estado asimilable, en aquellos casos en que, debido a las condiciones del pH de los suelos, formarían precipitados insolubles.

En la Figura 2 podemos ver un esquema de la relación entre la materia orgánica y los microelementos.

**FIGURA 2.**

**Reacciones entre materia orgánica e iones metálicos en el suelo.**



Recordemos que las plantas absorben los microelementos bajo forma de iones, que están o bien en la solución del suelo, o bien adsorbidos por los coloides del suelo, siendo en este caso susceptibles de pasar a la solución del suelo por intercambio iónico (cationes intercambiables), o también como iones incorporados en los complejos orgánicos (quelatos).

## 4.2 TEXTURA DEL SUELO

Es un dato que está estrechamente ligado a los contenidos en microelementos asimilables del suelo, Hay una disminución del valor del coeficiente.

**microelementos solubles / microelementos totales**

a medida que aumenta el contenido de elementos gruesos en la textura del suelo.

### 4.2.4. ACTIVIDAD MICROBIANA

La actividad microbiana depende de numerosos factores del suelo (pH, materia orgánica, etc.).

Los microorganismos actúan sobre la asimilación de los microelementos. Concretamente, controlan las reacciones de oxidación-reducción del Fe y Mn en el suelo.

En ocasiones los microorganismos del suelo entran en competición con el cultivo para la absorción de ciertos microelementos (como el Zinc en frutales).

### 4.2.5. CONDICIONES CLIMÁTICAS

El contenido en microelementos de los tejidos de las plantas presenta importantes variaciones estacionales, debidas a variaciones en la asimilación. Estas últimas pueden ser causadas por los efectos climáticos sobre la actividad de los microorganismos, ya que la actividad microbiana está muy influenciada por la temperatura.

El Mn es el elemento que presenta las variaciones estacionales más pronunciadas debido a la variación de las condiciones de oxidación-reducción inducidas por la actividad microbiana.

#### 4.2.6. CONDICIONES DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN

Las condiciones de oxidación-reducción intervienen sobre todo en la asimilación de Fe y Mn. La pobre asimilación de Fe y Mn en un medio con propiedades oxidantes puede explicarse por la menor solubilidad de las formas trivalentes en comparación a las formas divalentes reducidas.

#### 4.2.7. INTERACCIONES ENTRE ELEMENTOS NUTRITIVOS

Las interacciones entre elementos nutritivos y microelementos, y de microelementos entre sí, pueden dar lugar a carencias inducidas o a absorciones exacerbadas de alguno de ellos.

La Tabla 2 resume las principales interacciones que sobre la absorción y asimilación de Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, tienen los aportes de macroelementos o microelementos como fertilizantes.

**TABLA 2.**

**Principales interacciones entre elementos nutritivos que pueden afectar la asimilación (absorción, utilización) de microelementos aumentándola o disminuyéndola.**

Elemento	Efectos de los macroelementos	Efectos de los otros microelementos
Fe	P negativo, K variable (más bien positivo)	Mn, Cu, Zn, Mo más bien negativos, en orden decreciente
Manganeso		Fe muy negativo
Zinc	P muy negativo, N variable (efecto dilución negativo, depende forma N)	Interferencia con el Fe en la planta
Cobre	N y P negativos	Zn un poco negativa
Boro	N negativo, P positivo, K variable, Ca negativo	Poco importantes, Mn ligeramente positivo. Deficiencia de Cu efecto negativo sobre B
Molibdeno	P positivo, S negativo	Fe altamente negativo, Mn y Cu negativos

De los tres macroelementos primarios, N, P, K, es el fósforo el que presenta las interacciones más importantes con los oligoelementos. Una fertilización fosfatada muy elevada puede provocar reducciones en la asimilación de Fe, Cu y sobre todo Zn; y aumentar la asimilación de B y Mo.

# CAPÍTULO II

## MICROELEMENTOS EN LAS PLANTAS. FERTILIZACIÓN

### 1. MOVIMIENTOS DE LOS MICROELEMENTOS HACIA LAS RAÍCES Y ABSORCIÓN

En el suelo los movimientos de los microelementos hacia las raíces se realizan esencialmente por:

- **Convección o mass-flow:** es la transferencia de un ión por el movimiento del agua generada por la succión radicular de las plantas.
- **Difusión:** es el movimiento de iones de un punto de fuerte concentración a otro punto de menor concentración.

Una vez los microelementos han llegado sobre la superficie de los pelos absorbentes de la raíz, si el microelemento está quelatado, la planta extrae el ión metálico de la molécula de quelato y lo absorbe. La absorción puede realizarse por transporte activo a través de la membrana de las células del pelo absorbente (muy importante para Fe y menos para Mn, Cu, Zn y Mo) o por transporte pasivo (para B). El **transporte activo** es aquel que está regulado por el metabolismo de la planta, mientras que el **transporte pasivo** se realiza libremente al absorber el agua.

### 2 EXTRACCIONES DE MICROELEMENTOS POR LOS CULTIVOS

Las extracciones de microelementos dependen del rendimiento o producción vegetal (Tm/Ha de materia seca) y del contenido de la materia seca en microelementos.

#### 2.1. CONTENIDO DE MICROELEMENTOS EN LAS PLANTAS

Los contenidos de microelementos en las plantas varían a lo largo del ciclo de crecimiento y reflejan las disponibilidades correspondientes de un suelo en microelementos asimilables.

La absorción de la mayor parte de los microelementos está influenciada por las interacciones con los demás elementos nutritivos. Por ejemplo las interacciones P/Zn, Fe/Zn, Cu/Mo son fuertemente negativas.

En general, para los microelementos pueden distinguirse tres niveles de contenido:

- **Deficiente o de carencia.**
- **Normal.**
- **Tóxico.**

La Tabla 3 muestra fuertes variaciones de contenido en función de las especies, de los órganos y del microelemento en concreto. Los contenidos en microelementos se expresan en partes por millón (ppm ó mg/kg) de la materia seca de las plantas.

**TABLA 3**

**Contenidos de microelementos (ppm sobre materia seca) de diversas plantas cultivadas (Trocmé [1960] y Lepine [1980]).**

		Mn	Zn	Cu	B	Mo
CEREALES	GRANO	30-80	20-50	4-8	2,5-8	0,2-0,5
	PAJA	20-70	30-50	3-6	1-8	0,2-0,4
MAÍZ	GRANO	10-20	20-50	3-6	10-20	0,2-0,5
	PAJA	20-60	30-60	—	—	—
PATATAS		4-10	8-16	5-8	8-15	0,2-0,4
REMOLACHA	RAÍCES	10-15	5-10	6-10	15-20	—
	HOJAS	30-50	5-30	3-5	35-20	—

La Tabla 4 ilustra los distintos niveles de contenido de microelementos en las hojas de plantas sanas.

## **2.2. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE LA NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS CON MICROELEMENTOS**

Existen cuatro procedimientos de diagnóstico de carencias de microelementos:

- **El diagnóstico visual.**
- **El análisis de la planta.**
- **El análisis del suelo.**
- **La experimentación.**

### **2.2.1. DIAGNÓSTICO VISUAL**

Las deficiencias o toxicidades de los micronutrientes se diagnostican por los síntomas que aparecen sobre las plantas.

Cada uno de los seis micronutrientes presenta síntomas más o menos específicos. Para un mismo microelemento hay frecuentemente unos síntomas generales comunes a todas las especies y otras particulares para ciertas especies. Es importante que el observador esté familiarizado con una carencia determinada en un cierto cultivo.



**TABLA 4.**  
Niveles de nutrientes en tejido de hojas aparentemente sanas.

Elementos	Tomate	Pepino	Lechuga	Fresa	Clavel	Crisantemo	Gerbera	Alfalfa	Manzano*	Peral	Citricos	Melocotonero	Rosal	Aguacate
N (%)	4.5 4.5-5.5	5.25 5.0-6.0	4.2 3.0-6.0	2.8	3.71	3.56	4.5	4.0-5.0	2.6 2.4-2.8	2.50 1.3-2.5	2.2-2.9	2.8 2.2-2.8	2.8-4.4	2.0
P (%)	0.7 0.6-1.0	0.75 0.7-1.0	1.0 0.8-1.2	1000(ppm)	0.36	0.20	0.26	0.21-0.25	0.3 6.4-6.5	0.22 0.15-0.22	0.12-0.16	0.26 0.17-0.26	0.2-0.3	0.25
K (%)	4.5 4.0-5.5	4.25 4.5-5.5	5.4 5.0-10.8	1.0	2.10	3.50	2.76	1.8-2.4	1.65 1.1-1.65	2.65 1.15-3.65	1.2-1.7	2.5 1.2-2.5	1.8-2.6	2.01
Ca (%)	1.5 1.5-2.5	3.0 2.0-4.0	1.5 1.1-2.1	0.3	1.75	0.50	1.01	1.0-1.3	2.10es 1.18-1.21	3.21 1.18-1.21	3.0-5.5	2.12 1.2-3.4	0.8-1.5	3.0
Mg (%)	0.5 0.5-0.6	0.75 0.5-1.0	0.42 0.3-0.9	0.2	0.42	0.20	0.26	0.28-0.29	0.49 0.2-0.5	0.25 0.26-0.55	3.0-0.6	0.57 0.26-1	0.2-0.25	0.8
Fe (ppm)	100 80-150	125 100-150	120 130-500	50	75	100	131	96-7	220	165 85-165	60-120	166 93-166	75-150	200
B (ppm)	50 35-60	40 35-60	32 25-40	25	37	35	36	20-26	42 26-150	23 9-23	-	48 26-140	30-60	100
Mn (ppm)	70 70-150	70 60-150	70 20-150	30	93	30	100	30-30	105 25-110	53 22-53	25-200?	151 26-160	50-250	450
Zn (ppm)	30 30-45	50 40-30	45 60-120	20	38	20	31	11-18	39	38 24-38	25-100?	27 13-27	15-20	150
Cl (ppm)	5 4-6	8 5-10	14 7-17	3	7	10	5	7-10	10 3.6-20	20 4-20	6-10?	15 4-18	5-15	15
Mo (ppm)	2 1-3	2 1-3	2-3 1-4	-	-	-	-	-	-	-	0.1-0.20?	-	-	-

(\*) Manzanos var. Starking.

(\*\*) El calcio debe ser elevado a fin de promover cuajar, en lo posible, los distributos fisiológicos que provoca el Bitter-Pit.

La Tabla 5 da un resumen de las condiciones de suelos que favorecen las carencias de cada micronutriente, así como de los cultivos más sensibles.

**TABLA 5**

**Condiciones del suelo que favorecen las carencias de microelementos en distintos cultivos.**

Microelemento	Condiciones del suelo que favorecen la deficiencia	Cultivos sensibles	Síntomas visuales de deficiencia
Hierro	Suelos calcáreos pH elevados Suelos ricos en P	Árboles frutales, viña Plantas ornamentales Soja-maíz-sorgo Judías	Clorosis internervial en hojas jóvenes
Manganeso	Suelos arenosos Suelos orgánicos Suelos muy calcáreos	Cereales Soja Árboles frutales Hortalizas de hoja Remolacha-patata	Las hojas jóvenes con coloración verde pálido a amarillo. Decoloración entre los nervios.
Zinc	Arenas lavadas pH elevados Suelos de cretas Suelos ricos en P	Maíz-Judías Diversas hortalizas Árboles frutales Cítricos	Las hojas jóvenes tienen bandas decoloradas (amarillas o blancas), en la parte basal de la hoja.
Cobre	Suelos arenosos Suelos orgánicos Suelos calizos pH elevados	Cereales Maíz Gramíneas forrajeras Alfalfa-trébol Árboles frutales Hortalizas	Las hojas jóvenes con coloración amarillo pálido. Las puntas de las hojas viejas están desecadas.
Boro	Suelos arenosos pH elevado Suelos muy calcáreos Sequía	Remolacha Alfalfa-girasol Hortalizas Árboles frutales-viña	Decaimiento Tallos huecos Caída de flores Frutos estériles
Molibdeno	Suelos ácidos Suelos arenosos	Alfalfa-soja-colza Algunas hortalizas (coliflor, melón, pepino, guisante).	Hojas amarillas en las leguminosas (-N). Hojas alargadas, estrechas.

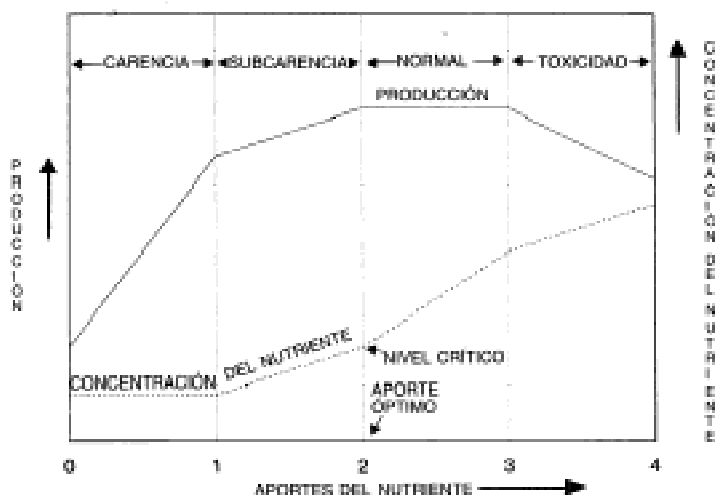
### **2.2.2. EL ANÁLISIS DE LA PLANTA**

El objetivo del análisis es determinar, en presencia o en ausencia de síntomas foliares, si un micronutriente es un factor limitante del rendimiento de un cultivo.

La relación entre el crecimiento de la planta en función del contenido de un elemento nutritivo en un órgano, viene dada por una curva como la de la Figura 3.

**FIGURA 3.**

**Relación entre la producción y la concentración de un nutriente en la planta, en función de la cantidad de fertilizante aportado.**



En esta gráfica se diferencian varias zonas:

1. **Carencia extrema:** Zona en la que se presentan síntomas foliares y otros bien manifiestos.
2. **Subcarencia:** Con síntomas menos evidentes, o bien enmascarados.
3. **Nivel crítico.**
4. **Nivel satisfactorio o normal.**
5. **Nivel de exceso o tóxico.**

El análisis de plantas se basa en la determinación del **nivel crítico** que es el contenido de un elemento por encima del cual no se obtendrá respuesta a un aporte suplementario del elemento (ver Tabla 4).

Cualquier valor muy próximo por debajo del nivel crítico, supondría un estado de subcarencia que afecta a la producción sin que aparezcan síntomas visuales de deficiencia. Con valores más inferiores se llegaría al nivel de carencia extrema con síntomas visuales.

### **2.2.3. EL ANÁLISIS DE SUELOS**

Los análisis de suelos determinan las cantidades de micronutrientes considerados asimilables para las plantas.

Por este método se pueden diferenciar los suelos deficientes de los no deficientes y evaluar la probabilidad de obtener una respuesta positiva a un aporte de microelemento.

La concentración de un micronutriente que separa los suelos deficientes de los no deficientes es el **nivel crítico del suelo**.

### **2.2.4. LA EXPERIMENTACIÓN**

Las experiencias de fertilización a pleno campo son la base necesaria para comprobar la eficacia de los diferentes métodos de análisis (del suelo y de la planta) mediante la correlación esta dística de los valores del análisis con la respuesta vegetal.

### 3 TOXICIDADES

La mayor parte de los micronutrientes pueden resultar tóxicos para las plantas cuando se absorben en concentraciones excesivas que pueden ser, no mucho mayores que las concentraciones necesarias.

La toxicidad correspondiente a tasas enormemente altas de micronutrientes absorbidos, se da en la mayoría de los casos, en condiciones de pH ácidos a muy ácidos.

La situación es la siguiente:

**Fe:** Se dan pocos casos de toxicidad, salvo en arrozales.

**Mn:** La toxicidad puede ser importante, en suelos ácidos (a  $\text{pH} < 6.5$ ).

**Zn:** La toxicidad es posible, pero muy rara. Se da en casos de suelos muy ricos en Zn y en los casos de contaminación.

**Cu:** La toxicidad es importante, sobre todo ligada a tratamientos fitosanitarios asociados con una fuerte acidez del suelo, así como en el caso de contaminación (residuos de granjas de cerdos).

**B:** Es posible debido a una fertilización excesiva.

**Mo:** La toxicidad es muy rara sobre las plantas, pero muy importante sobre los animales que ingieren estas plantas.

### 4. FERTILIZACIÓN CON MICROELEMENTOS

Una vez que el estado de carencia ha sido diagnosticado, bien por diagnóstico visual, bien por los resultados de los análisis de suelos y de plantas, es conveniente corregir la carencia de la forma más eficaz y rentable.

#### 4.1. LA FUENTE Y LA FORMA QUÍMICA DE LOS MICROELEMENTOS

Las fuentes de microelementos son:

- **Los compuestos minerales.**
- **Los quelatos de síntesis.**
- **Los complejos orgánicos naturales.**
- **Los productos «fritados».**

**COMPUESTOS MINERALES:** Comprenden diversos minerales naturales, como los óxidos, las sales metálicas (nitratos, cloruros, sulfatos). Los sulfatos son los compuestos más utilizados (sulfatos de Fe, Mn, Zn y Cu), seguidos por los nitratos.

**QUELATOS DE SÍNTESIS:** Resultan de la combinación de un agente quelatante con los iones metálicos. La estructura resultante preserva al ión metal de la formación de compuestos insolubles con otros agentes (aniones fosfato, por ejemplo) así como de la fijación por las arcillas del suelo. La estabilidad del enlace entre el quelato y el metal depende del agente quelatante, del metal quelado y de las condiciones fisicoquímicas del suelo (sobre todo pH). Los más utilizados son los quelatos de Hierro y Manganeseo.

**COMPLEJOS ORGÁNICOS NATURALES:** Existen diversos compuestos orgánicos naturales que se comportan químicamente como quelatos de síntesis, así, los subproductos de la industria de la celulosa y de la madera son utilizados para acomplejar micronutrientes metálicos. Un ejemplo son los lignosulfonatos de Fe y Zn.

**MICRONUTRIENTES FRITADOS:** Son productos obtenidos por fusión a alta temperatura (1.200°C) de materias primas diversas (óxidos, bióxidos, sílicoaluminatos), enfriados rápidamente (pasan de 1.200°C a 60°C en menos de un minuto) y molidos finamente. Estos productos son mezclas de micronutrientes de concentraciones muy variables. Son menos eficaces, pero su baja solubilidad puede ser una ventaja en suelos ligeros por minimizar las pérdidas por lavado y por tener un buen efecto residual.

#### **4.2. MÉTODOS DE APORTE DE MICROELEMENTOS AL CULTIVO**

Para la corrección de deficiencias en micronutrientes, los aportes se pueden realizar: por aporte al suelo (fertirrigación o incorporación), por pulverización foliar, inyección, etc.

# CAPÍTULO III

## QUELATOS DE MICROELEMENTOS

### 1. INTRODUCCIÓN

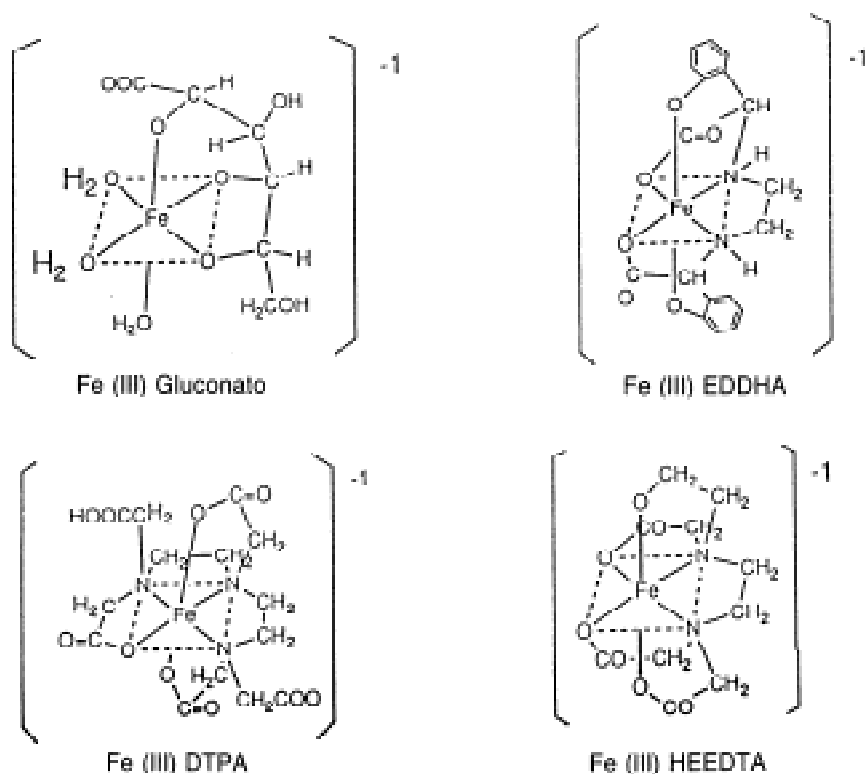
La mayoría de microelementos requeridos pueden ser suministrados a las plantas en forma de quelatos, así, desde hace 20-25 años se han aportado microelementos quelatados a cultivos como frutales, hortícolas, cítricos, maíz, etc.

Los quelatos se aplican por vía foliar y radicular, como tratamiento de semillas y como integrantes de las soluciones nutritivas de cultivos hidropónicos.

### 2. QUELATOS DE SÍNTESIS

Resultan de la **combinación de un agente quelatante** (bajo forma de ácido o sal sódica) con los iones metálicos. Los agentes quelatantes se combinan con un metal (Fe Mn Zn Cu para construir una estructura en anillo o en pinza tal como se presenta en la Figura 4.

**FIGURA 4.**  
Configuración espacial de distintos quelatos de hierro.



La estructura del quelato preserva al ión metal de la formación de compuestos insolubles con otros agentes (por ej. con aniones fosfato), así como de su fijación por las arcillas del suelo.



## B) HIDROXICARBOX

Los citratos, sacaratos, gluconatos y **heptagluconatos** son agentes quelatantes efectivos para iones metálicos. Este grupo de quelatos generalmente se ha utilizado para aplicar micro elementos quelatados por vía foliar. Los más conocidos son los citratos.

**El heptagluconato es particularmente efectivo como agente quelatante en solución alcalina.** La capacidad quelatante del heptagluconato aumenta con el pH en contraste con la del citrato y el de los aminopolicarboxilatos que son menos efectivos a pH altos.

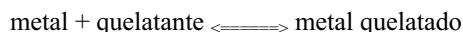
Al contrario que los aminopolicarboxilatos, los heptagluconatos no son fitotóxicos y pueden ser utilizados en altas concentraciones, tanto por vía foliar como radicular.

## 4. LA ESTABILIDAD DE LOS QUELATOS

Los quelatos utilizados como fertilizantes deben tener una estabilidad suficiente para impedir la formación de sales insolubles del ión metal, pero han de ser suficientemente inestables para liberar lentamente los metales para que las plantas puedan asimilarlos.

Sólo unos pocos agentes quelatantes tienen suficiente afinidad por los iones metales para formar complejos solubles estables en las condiciones que se dan en los suelos agrícolas.

La estabilidad de los quelatos está indicada por su constante de estabilidad, que se define como la constante de equilibrio de la ecuación:



por tanto,

$$K = [\text{metal quelatado}] / [\text{Metal quelatante}]$$

El valor de esta constante se suele presentar como el **log K**.

Cuanto más alto es el valor de K, más grande es la estabilidad del complejo. En la Tabla 7 se exponen los valores de log K para la mayoría de quelatos usados como fuente de microelementos.

**TABLA 7.**

**Constantes de estabilidad de los distintos quelatos.**

Agente quelatante	Log K					
	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
EDTA	25.0	14.77	14.87	18.70	13.81	11.0
EDDHA	33.9	14.3	16.8	23.94	—	7.20
HEEDTA	19.6	12.2	14.5	17.4	10.7	8.0
Citrato	11.2	4.8	4.86	3.90	3.70	4.68
Gluconato (GL)	37.2	1.0	1.70	36.6	—	1.21

No disponemos de las constantes de estabilidad de los heptagluconatos, pero se conoce que éstos son mejores agentes quelatantes para iones de metales que cualquiera de los compuestos listados en la Tabla 7.

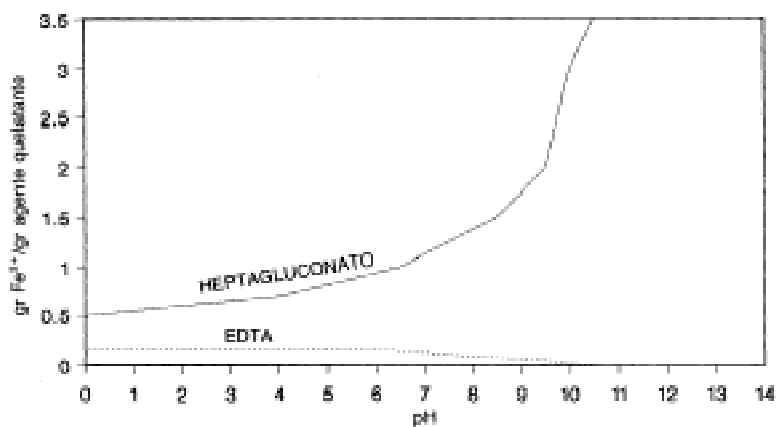
Los quelatos formados con el ión ferroso tienen menor estabilidad que los formados con el ión férrico, por ejemplo la constante de estabilidad del gluconato férrico es mayor que la del gluconato ferroso. Los quelatos formados con el ión cúprico son más estables que los del resto de cationes divalentes.

El gluconato (heptagluconato) es mejor agente quelatante para el Fe que el EDDHA y EDTA, la baja constante de estabilidad del gluconato cálcico (heptagluconato cálcico) y el hecho de que los gluconatos metálicos (heptagluconatos metálicos) son más estables en solución alcalina que en solución ácida, indica que el gluconato férrico (heptagluconato férrico) es mucho más estable en suelos alcalinos que el resto de los quelatos.



**FIGURA 5.**

**Evolución del poder quelatante del ácido heptagluónico con relación al pH.**



Resumiendo, los quelatos metálicos usados como fertilizantes de aplicación al suelo, deben tener una constante de estabilidad muy alta. En suelos calcáreos la constante de estabilidad de los quelatos metálicos debe ser mayor que la constante de estabilidad para el calcio.

# CAPÍTULO IV

## FERTIRRIGACIÓN

### **1. RIEGOS LOCALIZADOS DE ALTA FRECUENCIA**

En términos generales la fertirrigación comprende la aplicación de fertilizantes disueltos en agua de riego. En la práctica, se asocia con la aplicación de fertilizantes en los riegos localizados por goteo, aunque también se puede realizar en los riegos por aspersión.

La difusión de los riegos localizados de bajo caudal y alta frecuencia frente a los convencionales de alto caudal y baja frecuencia se debe a las siguientes ventajas:

- Mantienen una zona localizada del suelo con una humedad prácticamente constante (BULBO) superior al umbral exigido por los cultivos.
- Se favorece el desarrollo radicular en la zona húmeda.
- Se reduce la superficie de suelo mojado al 30-40% sin que el cultivo se vea afectado. Lo que permite un gran ahorro de agua y evita la evaporación de agua correspondiente al suelo no mojado.
- Mantenimiento de una humedad más uniforme.
- Mejor aireación dado que la zona que llega a saturarse de agua es insignificante.
- Menor riesgo de formación de costras superficiales.

Los riegos localizados de alta frecuencia tienen su máxima aplicación en los suelos ligeros con poca capacidad de retención de agua en los que con riegos convencionales resulta muy difícil y caro alcanzar la frecuencia necesaria para atender las necesidades de los cultivos.

También están especialmente indicados en los cultivos intensivos forzados sobre sustratos más o menos artificiales como: enarenados, turbas, lana de roca, etc.

Se han desarrollado igualmente en arboricultura frutal (cítricos, frutales, olivos, etc).

### **2. CARACTERÍSTICAS DE LA FERTIRRIGACIÓN CON RIEGO LOCALIZADO**

La aplicación de los elementos nutrientes con el agua de riego localizado, tiene grandes ventajas, de las cuales merecen destacarse:

- Asimilación eficaz de los nutrientes al estar localizados en la zona de máximo desarrollo radicular.
- Adecuación de la dosificación de elementos nutritivos a las necesidades del cultivo a lo largo de su ciclo vegetativo, permitiendo controlarlos en función de los objetivos concretos de producción (volumen, calidad, contenido en proteínas, etc
- Excelente distribución de los elementos nutritivos en la superficie de cultivo a coste reducido.
- Capacidad de reacción a las necesidades puntuales del cultivo en función de las características del desarrollo vegetativo.

La fertirrigación es un sistema muy eficiente de fertilización que permite la realización de un abonado racional. No obstante, también presenta algunos problemas que es necesario tener en cuenta y corregir. La obturación de los emisores puede producirse por la precipitación de los productos fertilizantes si no se emplean productos muy solubles.

Otro inconveniente que es necesario controlar es la salinidad. Los riegos localizados tienen el riesgo de que se formen zonas de mayor concentración de sales en los bordes superiores del bulbo húmedo que se crea alrededor del emisor (gotero).

Estos problemas pueden evitarse controlando adecuadamente la concentración máxima de sales a la salida de los emisores.

### **3. CANTIDADES DE NUTRIENTES Y CONCENTRACIÓN EN EL AGUA DE RIEGO**

Las soluciones nutritivas más frecuentes tienen el siguiente intervalo de contenidos:

<b>ELEMENTO</b>	<b>INTERVALO (ppm)</b>
N	150-200
P	45-60
K	200-400
Ca	150-200
Mg	20-50
S	30-9
Fe	3-5
Mn	1
Cu	0.1-0.2
Zn	0.2-0.4
B	0.2-0.4
Mo	0.05

En España se aplican los valores mayores de N y de K principalmente.

Las cantidades a aplicar en cada riego dependerán de las necesidades específicas del cultivo, de la frecuencia de riego y de la relación fertilización/riego que se diseñe. En los períodos de mayor desarrollo podrá practicarse una fertilización prácticamente continua, lo que permitirá mantener la concentración de la solución dentro del límite deseable de 2 g/l a la salida de los emisores. En los casos en que haya que espaciar las aplicaciones de fertilizantes habrá que cuidar de que la concentración no supere los 4 g/l.

# CAPÍTULO V

## CULTIVOS HIDROPÓNICOS

### 1. GENERALIDADES

Cultivo hidropónico es el cultivo de las plantas en una solución nutritiva (agua enriquecida con elementos nutritivos esenciales), con o sin un medio inerte que ejerza de soporte mecánico para las raíces, como arena, grava, perlita, lana de roca, etc.

La solución nutritiva debe contener todos los elementos nutritivos esenciales en forma asimilable. Se obtiene disolviendo las sales fertilizantes solubles en agua. Su composición debe variar dependiendo del estado de desarrollo de la planta y de las condiciones ambientales como la luz y la temperatura.

En los llamados cultivos hidropónicos cerrados. La solución nutritiva es reciclada indefinidamente. Se realizan tests químicos periódicos que nos indicarán las cantidades de nutrientes que deben reponerse.

Otro sistema de cultivo hidropónico, muy extendido en el Sur-Este de la Península Ibérica es el llamado cultivo hidropónico abierto, en el que la solución nutritiva una vez drenada de las bancadas de cultivo no se recicla, por lo que siempre se está aportando una solución nutritiva fresca.

### 2. VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL CULTIVO HIDROPÓNICO

El rendimiento alcanzado por los cultivos hidropónicos comerciales es aproximadamente el mismo que el alcanzado por los cultivos en suelos de buenas características agronómicas.

La principal ventaja del cultivo hidropónico es el ahorro en labores de mantenimiento de cultivo, debido al riego y a la fertilización automática.

Los inconvenientes son los elevados costes de instalación y la necesidad de control de la solución nutritiva en cultivos hidropónicos cerrados.

El cultivo hidropónico a gran escala sólo resulta rentable en ciertos tipos de cultivos muy intensivos o en cultivos en condiciones muy especiales. Se realiza generalmente en invernaderos con cultivos de flores y hortalizas, también se utiliza en zonas en que el suelo cultivable es escaso, o extremadamente infértil, pero que tienen un clima favorable para la implantación de cultivos de primor.

### 3. COMPARACIÓN ENTRE CULTIVO EN SUELO Y CULTIVO HIDROPÓNICO

Una comparación entre el cultivo hidropónico (Nutrient Film Technique) y el cultivo en suelo lo realizaron V. Noguera et al. (U.P. Valencia 1988) en la que estudiaron el crecimiento, desarrollo, absorción de agua y contenido foliar de nutrientes de plantas de tomate cultivadas en la costa mediterránea española.

Las diferencias más importantes entre ambos tipos de cultivos son las siguientes:

— Mayor precocidad de producción en el cultivo hidropónico, dado que el crecimiento vegetativo fue más rápido en el intervalo comprendido entre el transplante y la antesis del segundo racimo floral, reduciéndose posteriormente.

— El consumo de agua de las plantas en cultivos hidropónicos fue menor, lo que se traduce en una mayor retención de agua por gr de materia seca creado y una menor transpiración.

— La media de las concentraciones de microelementos en hoja fueron mayores para todos los elementos en las plantas en cultivo hidropónico, excepto para el hierro.

### 4. LOS MICROELEMENTOS EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

En los cultivos hidropónicos los microelementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo sales fertilizantes en la solución nutritiva. Estas sales fertilizantes deberán tener una alta solubilidad.

Es necesario un estricto control del pH de la solución nutritiva, dado que un aumento del pH puede inmovilizar el hierro, boro, manganeso, cobre y zinc de la solución nutritiva.

El uso de quelatos (hierro, manganeso, zinc y cobre) es altamente recomendable, dado que los microelementos quelatados permanecen fácilmente en solución y están siempre disponibles para las plantas, incluso bajo condiciones de pH muy variables.

Las soluciones nutritivas más frecuentes tienen el siguiente intervalo de contenidos en microelementos:

ELEMENTO	INTERVALO (ppm)
Fe	0.5-1.5
Mn y B	0.25-0.5
Cu y Zn	0.025-0.05
Mo	0.01-0.02

## 5. INTERACCIONES ENTRE MACRONUTRIENTES CATIONICOS (K, Ca y Mg) Y MICRONUTRIENTES

Según los estudios de I. Agui, et al. (1977) en planta de tomate (Var. Marglobe) en cultivo hidropónico, el equilibrio catiónico de la solución nutritiva, tiene un claro efecto en la distribución de microelementos en la planta.

En general, los microelementos catiónicos son retenidos en la raíz cuando en la solución nutritiva hay predominio de Ca y Mg sobre el K. Sin embargo, el B debido a su carácter aniónico, no sigue el mismo comportamiento.

Para Fe y Mn la mayor movilidad en la planta se obtiene cuando el cociente de concentraciones

$$\frac{[K^+]}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]} = 1$$

(mol/l) es igual a la unidad.

El ion  $Ca^{2+}$  es el que produce mayores interacciones con los microelementos, en general puede decirse que la proporción de concentraciones (mol/l)

$$\frac{[Ca^{2+}]}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [K^+]} < 0.5$$

nunca debe superar el valor 0.5; aunque en el caso del transporte del Mn y de Zn en la planta, se producen interacciones negativas para valores superiores a 0.35.

## 6. INFLUENCIA DEL BORO SOBRE OTROS NUTRIENTES

Se conoce por los estudios de A. Garate et al. (1988) y de I. Bonilla et al. (1988) que el nivel ideal de boro en solución nutritiva para el cultivo hidropónico del tomate es 0.5 ppm.

Niveles superiores a 5 ppm de Boro en solución nutritiva pueden considerarse como tóxicos para el tomate, produciendo una disminución del metabolismo nitrogenado de la planta, menor presencia de Mo, Fe, Mn y Zn en hojas y descenso de los rendimientos finales del cultivo.

Existe una interacción B/Mn que favorece la absorción de Mn a niveles deficientes de B. A niveles tóxicos el boro provoca la inmovilidad del Mn en la raíz.

# CAPÍTULO VI

## WELGRO MICROMIX

### 1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

WELGRO MICROMIX es un formulado especialmente diseñado para ser utilizado como complejo de micronutrientes en soluciones nutritivas destinadas a cultivos hidropónicos, fertirrigación y aplicación foliar.

WELGRO MICROMIX es una mezcla molecular de heptagluconatos de hierro, manganeso, cobre y zinc que contiene además los elementos Boro y Molibdeno en forma respectiva mente de Borato y Molibdato, WELGRO MICROMIX puede aplicarse en cualquier cultivo: hortícolas, ornamentales, fresas, frutales, etc.

WELGRO MICROMIX no presenta problemas de fitotoxicidad ya que el agente quelatante, el Ácido heptagluónico, es un derivado de la glucosa, siendo así un producto totalmente inocuo. WELGRO MICROMIX se presenta en forma de sólido amorfo de alta solubilidad.

### 2. MÉTODO DE FABRICACIÓN

Para obtener la mezcla a nivel molecular se procede a quelatar conjuntamente en forma de solución acuosa, todos los componentes, y a continuación se elimina el agua de disolución mediante un proceso de evaporación a la continua, a temperatura regulada para obtener así un producto totalmente uniforme y soluble.

### 3. COMPOSICIÓN

WELGRO MICROMIX contiene las siguientes riquezas garantizadas en microelementos.

Composición centesimal	
Fe .....	8'60%
B .....	0'45%
Cu .....	0'27%
Mn .....	4'50%
Zn .....	0'63%
Mo .....	0'10%

### 4. MODO DE EMPLEO, MOMENTO DE APLICACIÓN Y DOSIS

#### 4.1. MODO DE EMPLEO

WELGRO MICROMIX puede aplicarse como complejo de microelementos en las soluciones nutritivas destinadas a cultivos hidropónicos y fertirrigación (riego por goteo, aspersión, o por cualquier otro método) y también en aplicación foliar.

#### 4.2. MOMENTO DE APLICACIÓN Y DOSIS

## **4.2.1 CULTIVOS HORTÍCOLAS (tomate, melón, pepino, etc.).**

### **4.2.1.1. Cultivo hidropónico**

WELGRO MICROMIX se utiliza como complejo de micronutrientes en la solución nutritiva de cultivos hidropónicos, tanto en sistemas NFT (Nutrient Film Technique) como en cultivos en grava, arena, ana de roca, perlita, etc.

Las dosis a utilizar oscilan de 1'5 a 2'5 kg en 100 m<sup>3</sup> de solución nutritiva. Se recomienda utilizar dosis bajas hasta floración y dosis más altas a partir de este momento hasta finalizada la maduración del fruto.

En algunos cultivos, por ej.: tomate, pepino, lechuga, etc.; a partir del inicio de la maduración del fruto, se recomienda completar el elemento Boro, mediante aporte suplementario, hasta una concentración óptima de 0.25-0.5 ppm.

### **4.2.1.2. Fertirrigación**

WELGRO MICROMIX se comienza a aplicar 5-7 días después del trasplante a dosis de 1 kg/ha. Se recomienda un mínimo de 10 aplicaciones en ciclo vegetativo (por ejemplo cada semana durante 10 semanas).

En caso de carencia se aplicará a 2 kg/ha y repetir cada 5 días hasta Da desaparición de los síntomas de carencia. En general bastan de 3 a 4 aplicaciones.

## **4.2.2. FRESAS Y FRESONES**

### **4.2.2.1. Cultivo hidropónico**

WELGRO MICROMIX se utiliza como complejo de micronutrientes en la solución nutritiva de cultivos hidropónicos, tanto en sistemas NFT (Nutrient FiDm Technique) como en cultivos en grava, arena, lana de roca, perlita, etc.

Las dosis a utilizar oscilan de 1'5 a 2'5 kg en 100 m<sup>3</sup> de solución nutritiva. Se recomienda utilizar dosis bajas hasta floración y dosis más altas a partir de este momento hasta la recolección.

A partir del inicio de la maduración del fruto, se recomienda completar el elemento Boro, mediante aporte suplementario, hasta una concentración óptima de 0.25-0.5 ppm.

### **4.2.2.2. Fertirrigación**

WELGRO MICROMIX se aplica a la plantación hasta un mes antes del final de la recolección a través del sistema de riego (aspersión, goteo).

Los mejores resultados se obtienen fraccionando la dosis total en tratamientos semanales. Las dosis totales a aplicar son:

Inyección o riego por aspersión .....	10-25 kg/ha
Riego por goteo .....	7-20 kg/ha

## **4.2.3. FRUTALES DE HUESO, PEPITA, AVELLANO, ETC.**

Frutales (manzano, peral, melocotonero, avellano) en riego por goteo (dosis totales anuales):

	<b>Dosis de mantenimiento</b>	<b>Dosis curativas</b>
<b>Viveros</b>	1 gr/pie	1'5-5 gr/pie
<b>Plantones antes de producción</b>	6 gr/pie	7-25 gr/pie
<b>Árboles en producción</b>	9 gr/pie	25-35 gr/pie (marzo) 35-70 gr/pie (mayo)
<b>Árboles muy desarrollados</b>	35 gr/pie	70-140 gr/pie

En las dosis curativas, el valor más alto debe aplicarse en caso de carencias graves mientras que el más bajo, en caso de carencias leves. Los mejores resultados se obtienen fraccionando en Varias aplicaciones la dosis total a aportar anualmente.

#### 4.2.4. PARRAL

Riego por goteo (dosis totales anuales):

	<b>Mantenimiento</b>	<b>Leves</b>	<b>Graves</b>
<b>Plantas en espaldera</b>	2 gr/pie	5 gr/pie	8 gr/pie
<b>Plantas en emparrado</b>	2,5 gr/pie	8 gr/pie	10 gr/pie

#### 4.2.5. CÍTRICOS (Naranja, mandarino, limonero, etc.)

La época más apropiada para la aplicación de WELGRO MICROMIX va desde el momento que precede la abertura de la flor hasta la brotación de verano.

Los mejores resultados se obtienen fraccionando en varias aplicaciones la dosis total a aportar (Ver cuadro adjunto), por ejemplo en cada riego.

Las dosis totales anuales a aplicar a través del riego por goteo son las siguientes:

	<b>Dosis de mantenimiento</b>	<b>Dosis para carencia declarada</b>
<b>Viveros</b>	1'5 gr/pie	2'5-8 gr/pie
<b>Plantones en campo</b>	10 gr/pie	14-50 gr/pie
<b>Árboles en producción</b>	30 gr/pie	50-125 gr/pie
<b>Árboles muy desarrollados</b>	55 gr/pie	125-250 gr/pie

En la dosis a aplicar en caso de carencia declarada, las cifras bajas se refieren a carencias leves mientras que las mayores son para casos graves de carencias.



#### **4.2.6. REMOLACHA Y ALGODÓN**

WELGRO MICROMIX se aplica a través del riego por aspersión o inyectado en bandas. Se recomienda fraccionar la dosis total de 4-7 kg/ha en 2-3 aplicaciones a partir de 4 hojas verdaderas.

#### **4.2.7. PLATANERA**

WELGRO MICROMIX se aplica en riego por goteo, a razón de 3-4 kg/ha en cada aplicación; se aportará de forma preventiva dicho corrector en el momento de salida de invierno y también a final de verano.

#### **4.2.8. CULTIVOS EN GENERAL**

WELGRO MICROMIX se utiliza también en tratamientos foliares a razón de 100-300 gr/hl solo o en mezcla con los abonos foliares de la serie Welgro.

**COMERCIAL QUÍMICA MASSÓ, S.A.**

**DIVISIÓN AGRO**

**DEPARTAMENTO TÉCNICO**