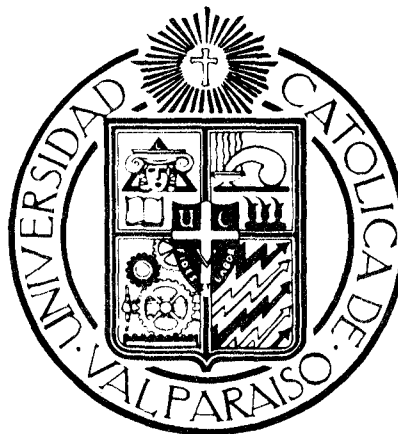


UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO

FACULTAD DE AGRONOMIA

AREA DE HORTICULTURA



EFFECTO DE LA FUENTE DE FIERRO
(Sequestrene 138 Fe y Sulfato Ferroso)
Y DE LA DOSIS SOBRE EL GRADO DE AVANCE
DE LOS SINTOMAS DE DEFICIENCIA FERRICA EN PALTOS
(Persea Americana Mill.) cv. Hass

MAX JOSE SCHMIDT ILIC
QUILLOTA CHILE

1990

INDICE DE MATERIAS

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
2.1. Antecedentes sobre el cultivo del palto	5
2.1.1. El cultivar Hass	6
2.2. Causas de la deficiencia de hierro	7
2.2.1. Disponibilidad del Fe en el suelo	7
2.2.2. Relación Fe/CaCO ₃	8
2.2.3. Relación K/Fe en el suelo	10
2.2.4. Relación NH ₄ ⁺ /NO ₃ en el suelo	10
2.2.5. Calidad del agua de riego	10
2.2.6. Estado sanitario y actividad radical	11
2.3. Absorción del hierro por las raíces	11
2.3.1. Absorción de Fe ²⁺	11
2.3.2. Absorción de Fe ³⁺	12
2.3.3. Estrategias de absorción del hierro	13
2.4. Función del Fe en la planta	17
2.4.1. Relación clorofila/Fe en las hojas	16
2.4.2. Hierro y estructura cloroplástica	18
2.4.3. Fe y transporte del electrón fotosintético	19
2.4.4. Relación clorofila a/clorofila b	21
2.4.5. Implicancia del Fe en la síntesis de clorofila	21
2.4.6. Fe y síntesis de proteínas	23
2.5. Corrección de los problemas de deficiencia férrica	23
2.5.1. Aplicación de Fe	23
2.5.1.1. Fuentes de Fe	24
2.5.1.2. Métodos de aplicación	26
2.5.2. Acidificación del suelo	32
2.5.3. Prácticas de manejo	34
2.6. Antecedentes sobre la corrección de la deficiencia férrica en palto	35
2.7. Contenido de clorofila y nivel de clorosis férrica	44
3. MATERIAL Y METODO	47

4.	RESULTADOS Y DISCUSION	61
4.1.	Ensayo 1	61
4.2.	Ensayo 2	69
4.3.	Ensayo 3	79
4.4.	Ensayo 4	93
5.	CONCLUSIONES	109
6.	RESUMEN	112
7.	LITERATURA CITADA	114

INDICE DE CUADROS

Pág.

CUADRO 1. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la longitud media de ramillas, luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (nov. de 1987) de la aplicación en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, sin síntomas iniciales de deficiencia férrica (Nivel 1).

62

CUADRO 2. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre el diámetro medio de ramillas, medido 10 cm bajo el apice, luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (nov. de 1987) de la aplicación, en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass sin síntomas iniciales de deficiencia férrica (Nivel 1).

63

CUADRO 3. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre el incremento medio del perimetro del tronco luego de 12 meses de la aplicación (nov. de 1987) en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, sin síntomas iniciales de deficiencia férrica (Nivel 1).

64

CUADRO 4. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la concentración de clorofila total (a+b) total, luego de 5 meses (abril de 1987) y 17 meses (abril de 1988) de la aplicación, en árboles de de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, sin síntomas iniciales de deficiencia férrica (Nivel 1).

65

- CUADRO 5. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la variación mensual del grado de clorosis férrica en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, sin síntomas iniciales de deficiencia férrica. 66
- CUADRO 6. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la longitud media de ramillas, luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (nov. de 1987) de la aplicación, en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica leve (Nivel 2). 69
- CUADRO 7. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre el diámetro medio de ramillas (medido 10 cm bajo el ápice) luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (nov. de 1987) de la aplicación, en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica leve (Nivel 2). 70
- CUADRO 8. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre el incremento del perímetro del tronco, luego de 12 meses de la aplicación (noviembre de 1987) en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica leve (Nivel 2). 71

CUADRO 9. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la concentración de clorofila total (a+b) foliar, luego de 5 meses (abril de 1987) y 17 meses (abril de 1988) de la aplicación en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass que presentan síntomas iniciales de deficiencia férrica leve (Nivel 2).

72

CUADRO 10. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la variación mensual del grado de clorosis férrica en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica leve (Nivel 2).

73

CUADRO 11. Efecto de la fuente de fierro, sobre la proporción observada de arboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass con síntomas iniciales de deficiencia leve, que alcanzan el estado sano (Nivel 1), luego de 17 meses de aplicación.

74

CUADRO 12. Efecto de la dosis de Sulfato ferroso sobre el tiempo promedio (meses) que demora un árbol de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass con síntomas iniciales de deficiencia férrica leve (Nivel 2) en alcanzar el estado sano por primera vez (Nivel 1).

75

CUADRO 13. Efecto de la fuente de Fierro sobre la longitud media de ramillas, luego de 5 meses de la aplicación (abril de 1987) y 12 meses (noviembre de 1987) de aplicación en árboles de palto (Persea americana Mill.) que presentan síntomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

79

CUADRO 14. Efecto de la dosis de la fuente de fierro sobre la longitud media de ramillas, luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (noviembre de 1987) de la aplicación en árboles de palto, (Persea americana Mill.) cv. Hass, que presentan síntomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

80

CUADRO 15. Efecto de la dosis y de la interacción entre fuente de fierro y dosis, sobre el diámetro medio de ramillas, luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (noviembre de 1987) de la aplicación en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass que presentan deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

81

CUADRO 16. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre el incremento medio del perímetro del tronco, luego de 12 meses de la aplicación (noviembre de 1987), en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

83

CUADRO 17. Efecto de la dosis de la fuente de fierro sobre la concentración de clorofila total (a+b) luego de 5 meses (abril de 1987) y de 17 meses (abril de 1988) de la aplicación, en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, que presenar síntomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

84

CUADRO 18. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la variación mensual del grado de clorosis férrica en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass con síntomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

87

CUADRO 19. Efecto de la dosis de fuente de fierro sobre la proporción observada de arboles de palto (Persea americana Mill.) cvc. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3), que se mantienen en el estado sano (Nivel 1), 17 meses después de la aplicación.

88

CUADRO 20. Efecto de la fuente de fierro sobre el tiempo promedio (meses) que demora en recuperar al estado sano (Nivel 1), árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

89

CUADRO 21. Efecto de la dosis y de la interacción entre fuente de fierro y dosis de aplicación sobre la longitud media de ramillas, luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (noviembre de 1987) de la aplicación, en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass con síntomas iniciales de deficiencia férrica severa (Nivel 4).

94

CUADRO 22. Efecto de la dosis de la fuente de fierro sobre el diámetro medio de ramillas luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (noviembre de 1987) de la aplicación, en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass con síntomas iniciales de deficiencia severa (Nivel 4).

95

CUADRO 23. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre el incremento medio del perímetro del tronco, luego de 12 meses de la aplicación (noviembre de 1987) en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass que presentan síntomas iniciales de deficiencia férrica severa (Nivel 4).

97

CUADRO 24. Efecto de la dosis de fuente de fierro sobre la concentración de clorofila total (a+b) foliar luego de 5 meses (abril de 1987) y 17 meses (abril de 1988) en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas de clorosis férrica (Nivel 4).

98

CUADRO 25. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la variación mensual del grado de clorosis férrica en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica severa (Nivel 4).

100

CUADRO 26. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la proporción observada de árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica severa (Nivel 4) que se mantiene en el estado sano (Nivel 4) que se mantienen en el estado sano (Nivel 1) luego de 17 meses de la aplicación.

102

CUADRO 27. Efecto de 2 tratamientos de fierro (Sequestrene 138 Fe, dosis 30 g/l y Sulfato ferroso, dosis 60 g/l) sobre el tiempo medio que demora un árbol de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass. con síntomas de deficiencia férrica severa (Nivel 4) en alcanzar el estado sano (Nivel 1) por primera vez luego de la aplicación.

103

1. INTRODUCCION

El hierro es, dentro de los elementos minerales, uno de los más abundantes sobre la corteza terrestre. Es considerado como un micro elemento, ya que la planta lo requiere en muy pequeña concentración en el suelo (MARSHNER, 1986).

Pese a su abundancia en la naturaleza, es frecuente observar problemas de deficiencia de hierro en las plantas cuyas causas se atribuyen a:

1. La relación no equilibrada entre el hierro y los demás oligoelementos (BROWN y JOLLEY, 1986; MARSHNER, 1986).
2. La baja disponibilidad de hierro en suelos de pH ácido (BROWN y JOLLEY, 1986).
3. El exceso de calcio en suelos de pH alcalino (LUEPPERT, 1986).

Esta última causa es la más importante y la más interesante desde el punto de vista de las especies vegetales, ya que los suelos calcáreos cubren aproximadamente el 30% de la superficie terrestre. Este es el caso del palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, cultivado en la zona de La Cruz y Quillota, cuyos suelos presentan pH alcalino.

En palto, como en la mayoría de las especies vegetales, la deficiencia de fierro se manifiesta como una clorosis intervenal muy marcada y característica, fundamentalmente en las hojas jóvenes del árbol, ya que el fierro, por ser un elemento inmóvil dentro de la planta, no se trasloca desde las hojas maduras.

Los síntomas de deficiencia de fierro, o clorosis férrica, pueden abarcar el árbol completo, o sólo determinadas zonas del follaje. En estados avanzados de clorosis, comienza una necrosis marginal en las hojas ya cloróticas, las cuales terminan por secarse completamente y caer.

La sintomatología de deficiencia de fierro es observada con mayor frecuencia entre los meses de septiembre y marzo. Asimismo, es esperable observar que en aquellos árboles que presentan una producción muy abundante una temporada, a la siguiente presenten clorosis férrica. De igual modo, problemas radicales producto de daños mecánicos, o ataques fúngicos, como también excesos de humedad en el suelo, disminuyen la absorción de Fe por las raíces (RAZETO, 1984).

Las plantas con clorosis férrica han sido

tratadas desde hace mucho años con Sulfato ferroso, via aplicación foliar, y en algunos casos directamente al suelo.

En los suelos calcareos, este método de corrección es poco efectivo, ya que el sulfato de hierro (FeSO_4) se ioniza, pasando a ión ferroso y luego a hidróxido ferroso, de baja solubilidad (MORTVEDT, 1986).

Actualmente, para corregir la clorosis férrica se emplean quelatos de hierro, principalmente Fe-EDDHA (Nombre comercial: Sequestrene 138 Fe) (KADMAN y LAHAV, 1982; GREGORIOU, PAPADENETRIOU y CHRISTOFIDES, 1983).

Los quelatos de hierro son compuestos orgánicos de aplicación al suelo, que tienen la ventaja de no ionizarse en el mismo, permaneciendo solubles y en una forma que puede ser absorbida por la planta. Los resultados obtenidos son satisfactorios. Sin embargo, este tratamiento tiene la desventaja del alto costo comercial (PASSBENDER, 1980).

También, se han ensayado aplicaciones foliares de quelatos de hierro, las cuales tienen el inconveniente, en palto, de ser poco efectivas, por la baja absorción foliar de las hojas de esta especie, además del elevado costo comercial (KADMAN y LAHAV, 1972).

Otra forma de aplicación de hierro al árbol, probado desde hace algunos años, es la de inyectar quelatos de hierro a presión en el tronco del árbol, mediante el uso de inyectores apropiados (KADMAN y LAHAV, 1972; KADMAN y COHEN, 1974). Se ha probado también Sulfato ferroso, inyectado en arboles de Arce plateado (Acer saccharinum L.), (HURLEY; WALSER y DAVIS, 1986). Estos dos últimos tratamientos han entregado resultados bastantes promisorios hasta el momento y tienen la ventaja de un óptimo aprovechamiento del producto, sin pérdidas de ningún tipo. Ambos tratamientos serán el objeto de estudio del presente trabajo.

Los objetivos del presente ensayo son:

1. Evaluar el efecto de dos productos comerciales (Secuestrene 138 Fe y Sulfato ferroso) sobre algunos parámetros de crecimiento de árboles de palto y sobre la sintomatología visual, a partir de 4 niveles iniciales de clorosis.
2. Determinar la dosis más adecuada de producto comercial para la corrección de cada nivel de clorosis, a través de un periodo de tiempo de 17 meses.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. Antecedentes sobre el cultivo del palto:

El palto (Persea americana Mill.) es una especie frutícola de hoja persistente, de la familia Lauraceas, originaria de Centro América y de la parte norte de Sud América. La distinta condición ecológica de los lugares donde crece en forma natural, fue determinando la aparición de grupos de plantas adaptadas a las condiciones específicas del lugar. Estos grupos llegaron a constituir finalmente variedades botánicas distintas, también denominadas razas, entre las cuales destacan fundamentalmente tres: raza Mexicana, raza Guatemalteca y raza Antillana (GARDIAZABAL Y ROSENBERG, 1989).

Su introducción a Chile ocurrió a mediados del siglo pasado. Sin embargo, su inicio como cultivo comercial se remonta al año 1930 y posteriores, en que fueron introducidas las variedades comerciales actualmente cultivadas en Chile (GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1989). Actualmente, la superficie total cultivada con palto en Chile alcanza a las 8.195 ha, aproximadamente, concentrándose principalmente en las zonas de Quillota y La Cruz, Peumo, La Ligua, Ovalle y en general en zonas libres de heladas y con un clima de tipo subtropical.

2.1.1. El cultivar Hass

Corresponde a un cultivar de raza Guatemalteca, originario de California, EE.UU., que fue introducido a Chile en el año 1948.

Es un cultivar de gran producción, con una menor tendencia al añerismo que otros cultivares, como es el caso del cv. Fuerte (GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1989).

Es un árbol muy sensible a heladas, resistiendo una temperatura mínima de solo $-1,10^{\circ}\text{C}$ por media hora, restringiendo su cultivo a zonas libres de heladas.

Florece entre los meses de septiembre y noviembre. El fruto es de tipo piriforme a ovoide, con un peso de 180 a 360 gr aproximadamente. De color negro violáceo al madurar, la cáscara es rugosa y gruesa. Se cosecha entre los meses de septiembre y marzo. Es una fruta de excelente calidad (GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1989).

El cultivar Hass es uno de los más sensibles a al problema de deficiencia de fierro, presentando síntomas de clorosis férrica en suelos donde otros cultivares como Fuerte y Edranol no presentan síntomas (KADMAN, 1962).

2.2. Causas de la deficiencia de fierro:

2.2.1. Disponibilidad del Fe en el suelo y relación con el pH

La disponibilidad del Fe en el suelo está determinada por el pH de la solución del suelo (FASSBENDER, 1980). A valores de pH alcalinos, predominan las formas Fe OH^+ , $\text{Fe } \text{OH}_2^+$ y $\text{Fe } \text{OH}_2$, de baja solubilidad. A pH ácido, por el contrario, predominan las formas Fe^{2+} y Fe^{3+} , altamente solubles.

Segun LUEPPERI (1986), dentro del rango de pH de los suelos calcáreos, el cual fluctúa entre 7,4 y 8,5, la concentración de Fe disuelto total está en un mínimo y por lo tanto, es probable que cualquier especie se encuentre en una situación de stress.

Ademas del pH, existe una influencia importante del potencial redox sobre la disponibilidad del Fe para la planta (FASSBENDER, 1980). El potencial redox es una medida de la intensidad de las reacciones entre los compuestos químicos del suelo y su valor indica el nivel de presión o recepción de electrones en un momento dado. Estos valores varían en el suelo entre + 800 m.v. (milivoltios) y - 300 m.v. Los valores altos indican una oxidación fuerte y los valores bajos, una reducción fuerte.

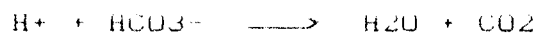
El potencial redox es influenciado por el pH aumentando el potencial redox al aumentar el nivel de acidez. A valores de potencial redox altos, el Fe se encuentra en el suelo en formas más solubles y por lo tanto, aprovechables para la planta. Lo contrario ocurre con valores de potencial redox bajos o negativos (FASSBENDER, 1980).

2.2.2. Relación Fe/CaCO₃

El CaCO₃ presenta una gran influencia en los sistemas de suelo donde esta presente (MARSCHNER, RÖHMELD y KISSEL, 1986). Esto se debe a su alta solubilidad, alta capacidad buffer, y basicidad (LOEPPERT, 1986). Al mismo tiempo, la concentración del CaCO₃ en el suelo depende de las concentraciones relativas de HCO₃⁻ y de Ca⁺ (LOEPPERT, 1986; BLOOM e INSKEEP, 1986). El contenido de Calcio de los suelos es variable, siendo obviamente muy alta en suelos calcáreos. Por otra parte, el contenido de HCO₃⁻ de la solución del suelo va a ser una consecuencia directa de la presión parcial de CO₂ en la atmosfera del suelo (LOEPPERT, 1986). Con una mayor presión parcial de CO₂ en la solución del suelo, se incrementa la concentración de HCO₃⁻ (BLOOM y INSKEEP, 1986). Esta mayor presión parcial de CO₂ depende de varios factores, entre los cuales destaca la condición de humedad del suelo. BLOOM e INSKEEP (1986), definen la clorosis como una función del potencial mátrico del suelo. Con un alto contenido de

humedad del suelo, el transporte del CO_2 producido microbiallymente y por las raíces es muy bajo y la presión parcial de CO_2 se incrementa, derivando en un aumento en la concentración de HCO_3^- (MENDEL y GEURTZEN, 1986). Existe, sin embargo, una precipitación de CaCO_3 en suelos calcáreos, la cual limita la presión parcial de CO_2 .

MENDEL y GEURTZEN (1986), por otra parte, destacan la importancia de la concentración de HCO_3^- en la solución del suelo, señalándolo como el inductor directo de la clorosis férrica. El HCO_3^- , al ser un ión alcalino, incrementa el pH de la solución del suelo. Asimismo, el HCO_3^- neutralizará la acidificación de la solución del suelo producida por la liberación de iones H^+ por las raíces de ciertas plantas. Esto se verifica (MENDEL y GEURTZEN, 1986) de acuerdo a la siguiente ecuación:



Pese a todo lo anteriormente expuesto, RUIZ y NAVIA (1982), no encontraron una correlación clara entre las características químicas del suelo, como pH y contenido de CaCO_3 y HCO_3^- , entre otros, y el contenido de Fe aprovechable de suelos de la zona central de Chile. Tampoco encontraron una correlación clara entre los factores químicos expuestos y el grado de fijación de Fe, agregado como quelato.

2.2.3. Relación K/Fe en el suelo

Algunos investigadores (BARAK y CHEN, 1984, citados por BROWN y JOLLEY, 1986), han encontrado que la adición de K a suelos extremadamente calcáreos alivió los síntomas de clorosis iérrica en mani. Otros investigadores (BOLLE JONES, 1985; JOLLEY y BROWN, 1985, citados por BROWN y JOLLEY, 1986) encontraron relaciones similares en otras especies. No se reporta un intento de explicación al respecto.

2.2.4. Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en el suelo

Cuando la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en el suelo se hace favorable a este último, el ión nitrato presenta una acción alcalinizante en la solución del suelo, limitando la disponibilidad del hierro, en forma similar a la acción del ión HCO_3^- , pero de menor intensidad. Por el contrario, la presencia de NH_4^+ en mayor cantidad en la solución, presenta un efecto acidificante, reprimiendo la acción del nitrato (MENGEL y GEURTZEN, 1986).

2.2.5. Calidad del agua de riego

Cuando el agua de riego presenta una alta concentración de sales, los suelos regados van sufriendo una paulatina alcalinización, y los cultivos desarrollados sobre

dichos suelos presentan un aumento en la incidencia de clorosis férrica. Tal es el caso de los suelos regados por el Río Maipo, cuyas aguas presentan una elevada concentración de sales de Ca (RAZETO, 1984).

2.2.6. Estado sanitario y actividad radical

RAZETO (1984), señala la importancia de la actividad radical en la absorción del Fe. Factores que detrimenten dicha actividad, tales como baja temperatura del suelo, un exceso de humedad en el mismo, daños mecánicos en las raíces o problemas sanitarios en ellas como resultado de enfermedades fungosas, ataque de nematodos o insectos, limitan en gran medida la absorción de Fe por las raíces.

2.3. Absorción del hierro por las raíces:

2.3.1. Absorción de Fe^{2+} .

CHANEY, BROWN y TIFFIN (1972), vieron en plántulas de avena (Hordeum vulgare L.), que la presencia de BPDS (quelato específico para Fe^{2+}) en la rizósfera, reducía marcadamente la tasa de absorción de Fe. Lo contrario ocurría ante la presencia de EDDHA (específico para Fe^{3+}). Ellos interpretaron estos resultados proponiendo que el Fe^{3+} no es absorbido por las raíces, ya que la presencia de un quelato aceptor de Fe^{3+} en la rizósfera, compitiendo con las

raíces hacia variar la tasa de absorción de fierro. Contrariamente, la presencia de un quelato aceptor de Fe^{2+} en la rizósfera, compitiendo las raíces por el Fe^{2+} , presente, si hacia decrecer la tasa de absorción de fierro.

2.3.2. Absorción de Fe^{3+}

Cuando la disponibilidad de Fe^{2+} es baja, las raíces lo obtienen a partir de la reducción del Fe^{3+} , por acción de una enzima reductasa, ubicada en la membrana plasmática (CHANEY, BROWN y TIFFIN, 1972).

Esta reducción obligatoria de Fe^{3+} a Fe^{2+} es discutida por ULSEN y MILLER (1986), quienes cuestionan la exclusividad del Fe^{2+} como forma de absorción por la planta. En experiencias realizadas por ellos, demuestran la absorción y posterior traslocación por las raíces de la planta, del ión Ga^{3+} que, a diferencia del Fe^{3+} , no puede ser reducido a Ga^{2+} por las raíces, ya que, de acuerdo a la información disponible, el Galio no existe en la forma Ga^{2+} . Por otra parte, el ión Ga^{3+} es casi igual en tamaño al ión de Fe^{3+} , con radios atómicos de 0,062 y 0,064 nanómetros, respectivamente. Ellos concluyen que los resultados obtenidos constituyen evidencia suficiente como para sostener que el Fe^{3+} puede ser absorbido por la planta. Asimismo, sostienen que CHANEY, BROWN y TIFFIN (1972), incurren en

errores de interpretación de sus resultados, lo que los lleva a sostener la exclusividad de la absorción de Fe^{2+} .

A pesar de lo anteriormente expuesto, existe un consenso general hoy en día de que la forma en que el hierro es absorbido por la planta corresponde a la forma Fe^{2+} (CHANEY, BROWN y TIFFIN 1972; MARSCHNER, ROMHELD y KISSEL, 1986).

2.3.3. Estrategia de absorción del Fe

Existen según MARSCHNER, ROMHELD y KISSEL (1986) al menos dos estrategias diferentes para la absorción del hierro por las plantas:

Estrategia 1: Presente en todas las dicotiledoneas y monocotiledoneas, con excepción de la mayoría de las gramíneas. Esta estrategia se caracteriza por al menos tres componentes: a) presencia de una enzima reductasa, a nivel de membrana que reduce el Fe^{3+} a Fe^{2+} en la rizósfera, y cuya actividad se ve incrementada por bajas concentraciones de Fe^{3+} (CHANEY, BROWN y TIFFIN, 1972; BIENFAIT et al., 1983, citados por MARSCHNER, ROMHELD y KISSEL, 1986). b) Expulsión de H^+ y aumento en la tasa neta de dicha expulsión, bajo condiciones de stress de hierro, como una forma de acidificación de la rizósfera (BROWN y JOLLEY, 1986; KANNAN,

1985). c) Liberación de sustancias quelatantes y/o reductoras, principalmente fenoles, como el ácido caféico (ULSEN et al, citado por TERRY y ABADIA, 1986), las cuales forman quelatos con el Fe^{3+} y el Fe^{2+} , facilitando su absorción. La tasa de liberación se ve incrementada por bajos valores de pH en el suelo.

Estrategia 2: Se encuentra solamente en gramíneas. Se caracteriza por la liberación de fitosideróforos (aminoácidos no generadores de proteínas), los cuales actúan reduciendo el Fe^{3+} presente en la rizosfera, y quelatando el Fe^{2+} para formar complejos Fe^{2+} -fitosideróforos. TAKAGI et al (1984), citados por BROWN y JOLLEY, (1986), mencionan al ácido mugineico como un fitosideróforo en gramíneas. Estos son absorbidos en la planta por medio de mecanismos altamente específicos, ausentes en plantas con estrategia 1. Asimismo, la afinidad de estos sistemas específicos con quelatos de Fe sintéticos o de origen microbial, es muy baja y casi inexistente (MARSCHNER, RUMHELD y KISSEL, 1986).

Otros autores (LANDSBERG, 1981; BROWN y JOLLEY, 1986), señalan también la formación, bajo condiciones de bajo contenido de Fe aprovechable, de células de transferencia, diferenciadas a partir de células epidermales. Estas células de transferencia se formarían en puntos específicos de la raíz, y en ellas ocurriría tanto la expulsión de protones

como la producción de sustancias reductoras y/o quelatantes. Estas células de transferencia pierden su actividad tan pronto como aumenta el Fe aprovechable en el suelo. Su presencia está supeditada sólo a las especies con estrategia 1 y que además son eficientes en la captación de Fe (BROWN y JOLLEY, 1986). Los genotipos eficientes en Fe son aquellos en los cuales, frente a una condición de deficiencia, existe un aumento en la actividad de los mecanismos de absorción y transporte del Fe por la planta. Por otro lado, los ineficientes no aumentan dicha actividad (TERRY y ABADIA, 1986; RÖMHELD y MARSHNER, 1981).

2.4. Función del Fe en la planta:

Una vez absorbido el Fe por las raíces, es transportado hacia el follaje por el xilema de la planta, probablemente como un complejo citrato- Fe^{3+} (TIFFIN, 1966, citado por TERRY y ABADIA, 1986). HOFNER (1970), citado por TERRY y ABADIA (1986), señala la presencia de otros compuestos en el flujo savial que podrían quelatar y transportar el Fe.

La mayor parte del Fe que se encuentra en las hojas está localizado en los cloroplastos (PRICE, 1968; SECKBACK, 1982, citados por TERRY y ABADIA, 1986). TERRY y LOW, (1982), citados por TERRY y ABADIA, (1986), señalan

que las 3/5 partes del contenido total de Fe en las hojas nuevas de plantas de remolacha estaba en las membranas tilacoides, 1/5 en el estroma cloroplástico, y el 1/5 restante era extracloroplástico. Se ha detectado la presencia de fitoferritina, una fosfoproteína ferrica, como forma de almacenamiento de Fe por la fracción estromal del cloroplasto (SECKBACK, 1982, citado por TERRY y ABADIA, 1986). Se ha estimado que la fitoferritina contiene entre un 10% y un 35% del Fe total de las hojas (VAN DER MARK, 1982; HEWITT, 1983, citados por TERRY y ABADIA, 1986).

GOODMAN y DE KOCK (1982), citados por TERRY y ABADIA, (1986), demostraron por medios espectroscópicos, que gran parte del Fe en las hojas, está en forma férrica (Fe^{3+}). Sin embargo, debido a la necesidad de Fe^{2+} para muchos procesos enzimáticos, es probable que una parte de Fe foliar se encuentre en la forma ferrosa (REBEIZ y LASCELLES, 1982, citados por TERRY y ABADIA, 1986). Los mecanismos de reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} en las células de las hojas son desconocidos. Se han sugerido muchos mecanismos distintos. TERRY y ABADIA (1986) proponen que el transporte no cíclico del electrón fotosintético podría proporcionar un reductante apto para este propósito, sin embargo, no existe evidencia clara al respecto.

2.4.1. Relación clorofila/Fe en las hojas

TERRY y LOW (1982), citados por TERRY y ABADIA (1986), demostraron que el contenido de clorofila está directamente relacionado con el contenido total de Fe en la hoja, bajo condiciones de deficiencia de Fe provocada por un rápido crecimiento (experiencias en cámara de crecimiento). Este se debería al hecho que la mayoría del Fe (y toda la clorofila) de la hoja se encuentran en las membranas tilacoides. Al desarrollarse la deficiencia de Fe y bajar la cantidad de membranas tilacoides, Fe y clorofila bajan correlativamente.

En terreno, sin embargo, se ha detectado frecuentemente una baja correlación entre contenido de clorofila y contenido de Fe en las hojas. (KUVANCI et al, 1982; PROCOPIU y WALLACE, 1982; MENGEL et al, 1984; ABADIA et al, 1985, citados por TERRY y ABADIA, 1986). Según TERRY y ABADIA (1986), este hecho podría deberse a que el contenido de clorofila se relaciona a una especial forma del fierro en la hoja, llamado "fierro activo". De esta forma, las hojas pueden presentar clorosis y sin embargo, tener un alto contenido de fierro, ya que la cantidad de Fe activo va a ser una pequeña parte del Fe total. Sin embargo, la composición y localización específicas del "Fe activo", no se conoce.

2.4.2. Fierro y estructura cloroplástica

El Fe cumple un papel fundamental en la formación estructural de ciertos organelos celulares (TERRY y ABADIA, 1986). Los autores han encontrado una marcada reducción en la cantidad de membranas tilacoides en cloroplastos de células de remolacha, bajo condiciones de deficiencia de Fe. PLATT- ALUJA et al (1983), citados por TERRY y ABADIA (1986), encontraron que los efectos de la deficiencia de Fe eran confinados a los cloroplastos, y que incluso otros organelos que contienen hierro, como son los peroxisomas y mitocondrias, no eran afectados estructuralmente por deficiencia de Fe. Asimismo, se ha detectado que en remolacha la deficiencia de Fe afecta en menor medida la síntesis de la fracción estromal del cloroplasto que la síntesis de membranas tilacoides (TERRY y ABADIA, 1986). Esta reducción de las membranas tilacoides por deficiencia de Fe es acompañada por disminución en las cantidades de todos los pigmentos captadores de energía luminica, como son clorofila a, clorofila b, y carotenos (TERRY y ABADIA, 1986). La cantidad de xantofila también decrece pero en una tasa mucho menor, de manera que las hojas deficientes en Fe son comparativamente mas ricas en xantofila (BOLLE, JONES y NOTTON, 1953; TERRY, 1980, citados por TERRY y ABADIA, 1986).

HECHT - BUCHOLZ y ORTMAN (1986), trabajando con microscopio electrónico, encontraron en plantas de poroto soya una fuerte reducción en el número de grana-tilocoides bajo condiciones de deficiencia de Fe. Al aportar Fe a las plantas deficientes, y lograr el reverdecimiento de éstas, el número de grana-tilacoides aumentó fuertemente, y también se incrementó el desarrollo de los cloroplastos en general, haciéndose similar al de las plantas control.

Los autores señalan, sin embargo, que bajo condiciones de clorosis muy severa (cuando las hojas toman un color amarillo-blanco), los cloroplastos sufren una fuerte desintegración. En tales casos, no fue posible obtener un reverdecimiento con aspersiones foliares de Fe.

2.4.3. Fe y transporte del electrón fotosintético

El Fe es un constituyente de muchos transportadores de electrones en la cadena de transporte del electrón fotosintético (HEWILL, 1983; HIPKINS, 1983; SANDMAN y BÖGER, 1983, citados por TERRY y ABADIA, 1986). La fuente de electrones en la reducción fotosintética del carbono, es el agua. La unidad de hidrólisis del agua (Fotosistema II), que se localiza principalmente en las membranas tilacoides, tiene varios componentes que contienen Fe (TERRY y ABADIA, 1986), como el componente g - 4 y la Quinona QA. Otro

componente que participa en la cadena de transporte del electrón fotosintético que contiene Fe, es el citocromo b6-f, que incluye la proteína Rieske Fe-S, el citocromo b6 (o citocromo b 563) y el citocromo K, ambos conteniendo un átomo de Fe por molécula en su estructura.

El siguiente eslabón en la cadena es el fotosistema I, el cual presenta varios componentes que contienen hierro en su estructura, como las proteínas XFe-S, BFe-S y AFe-S. Cada una de ellas contiene 4 átomos de Fe por molécula. Finalmente, la ferredoxina, una molécula encargada de la reducción del NADP⁺ (aceptor último del electrón fotosintético), es una proteína del tipo Fe-S, con 2 átomos de Fe y 2 de S por molécula (TERRY y ABADIA, 1986).

Los "complejos antena" de los fotosistemas I y II contienen pigmentos colectores de luz, como clorofila a. Una condición de deficiencia de Fe disminuye la síntesis de clorofila a, y por lo tanto, la captación de luz (TERRY y ABADIA, 1986). La deficiencia de Fe reduce también el número de unidades fotoquímicas (Fotosistemas I y II) por área de hoja, tales como el P700, W, CPa y CP1 (TERRY y ABADIA, 1986).

2.4.4. Relación clorofila a/clorofila b

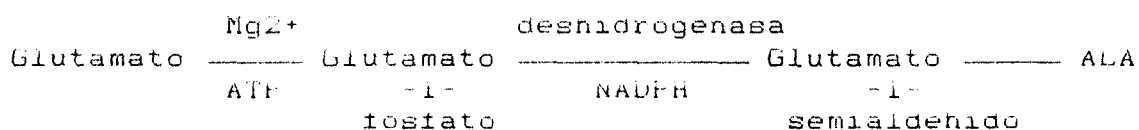
Bajo condiciones de campo, y en presencia de problemas de deficiencia de Fe, se produce un claro aumento en el valor de la relación clorofila a/clorofila b. Según TERRY y ABADIA (1986), esto se debe a la fotodestrucción de la clorofila b bajo las fuertes condiciones de radiación solar en el campo. Este comportamiento se ve aumentado ante una baja síntesis de clorofila. La clorofila b, que está más expuesta a la fuerte radiación solar de las condiciones de campo (debido a que forma parte del complejo antena), se fotodestruye más rápidamente que la clorofila a (TERRY y ABADIA, 1986).

2.4.5. Implicancia del Fe en la síntesis de clorofila

La clorofila es una molécula del grupo de las porfirinas. La síntesis de las porfirinas, según HESS (1980) se verifica a partir del succinil-CoA (producto del ciclo del ácido cítrico) y de la glicina (producto del metabolismo de los aminoácidos). Ambos compuestos se unen formando el ácido δ -aminolevulínico, un eslabón intermedio en la síntesis de porfirinas.

Según MILLER et al (1982), citados por TERRY y ABADIA (1986), la síntesis de ácido δ -aminolevulínico (ALA)

se ve reducida bajo condiciones de deficiencia de Fe. Ellos proponen que el fierro podria estar involucrado en la síntesis de ALA, mediante la activación por luz de una molécula que contenga Fe y que sea necesaria para la síntesis. Según HUANG et al (1984), citados por TERRY y ABADIA (1986), y en contraste con lo propuesto por HESS (1980), la síntesis de ALA se estima como sigue:



Según MILLER et al (1984), citados por TERRY y ABADIA (1986), las concentraciones de Mg^{2+} , ATP y/o NADPH estarían reguladas por un sistema thiorredoxina-ferrodoxina, complejo molecular que contiene Fe y que sería activado por luz.

Por otra parte, HUANG et al (1984), citados por TERRY y ABADIA (1986), han demostrado que al menos la mitad del RNA cloroplastico está ligado a una parte del complejo que produce ALA. De esta forma, el Fe puede estar comprometido en la transcripción o estabilidad de al menos la mitad de RNA cloroplástico.

2.4.6. Fe y síntesis de proteínas

La deficiencia de Fe reduce la proteína total de las hojas (PERUR et al, 1961; SHETTY y MILLER, 1966, citados por TERRY y ABADIA, 1986). Se ha detectado una mayor disminución de las proteínas de membrana que de las proteínas solubles de los cloroplastos (PERUR et al, 1961; SHETTY y MILLER, 1966, citados por TERRY y ABADIA, 1986).

Según TERRY y ABADIA (1986), el Fe actuaría regulando la síntesis y/o la reunión de los ribosomas, que traducen la información de los RNAm en una proteína precursor de la proteínas cloroplásticas. Este precursor es luego enzimáticamente modificado en el interior del cloroplasto, para formar la proteína cloroplástica.

2.5. Corrección de los problemas de deficiencia ferrica:

Los investigadores han ensayado diferentes técnicas con el fin de corregir los problemas de clorosis ferrica en plantas cultivadas.

2.5.1. Aplicación de Fe

La aplicación de hierro al árbol es la principal forma de corrección de la clorosis ensayada por los investigadores (MORTVEDT, 1986).

2.5.1.1. Fuentes de Fe

Desde hace muchos años se ha aplicado una serie de productos que contienen Fe destinados a la corrección de la clorosis férrica. Entre las fuentes orgánicas, tanto el FeSO_4 como el $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ son usados principalmente como fertilizantes foliares. El Fe_2O_3 , en cambio no se usa por su bajísima solubilidad en agua (MORTVEDT, 1986). El autor señala al FeSO_4 como la principal fuente de fierro utilizada.

Los quelatos sintéticos, por otra parte, aún cuando han sido ampliamente ensayados, su uso se restringe a cultivos muy especiales, por su alto costo. Un quelato está formado por la combinación de un agente quelatante con un metal, por medio de un enlace covalente. Un quelato efectivo es aquel en el cual la tasa de sustitución del metal quelatado por cationes del suelo es bastante baja, manteniendo de esta forma el micronutriente aplicado en la forma quelatada (MORTVEDT, 1986).

Los quelatos más usados para la aplicación de Fe son el ácido férrico etilen diamino tetracético (Fe-EDTA) y su forma hidroxí (Fe-HEDTA), y el ácido férrico etileno diamino di (0-hidroxí fenilacetato) (Fe-EDDHA), entre los principales productos utilizados (MORTVEDT, 1986).

Estos quelatos de Fe han sido evaluados desde hace tiempo. HOLMES y BROWN (1955), citados por MORTVEDT (1986), reportaron que el Fe DTPA y Fe EDDHA corrigieron la clorosis férrica en poroto soya (Glycine max L. Merr.) cultivados sobre suelos calcáreos, pero Fe EDTA y el Fe HEDTA no fueron efectivos. En contraste, STEWART y LEONARD (1957), citados por MORTVEDT (1986), encontraron que las aplicaciones al suelo de Fe-EDTA fueron efectivos en cultivos de cítricos en suelos arenosos. LINDSAY y SCHWAB (1982), citados por MORTVEDT (1986), establecieron para un cultivo de sorgo, la siguiente escala de efectividad de quelatos para corregir deficiencia de Fe, en orden decreciente: Fe EDDHA, Fe DTPA y Fe EDTA.

Segun MORTVEDT (1986), las aplicaciones al suelo de Fe-EDTA son efectivas sólo en suelos ácidos, mientras Fe-EDDHA es efectivo en todos los suelos. Por otra parte, el Fe-DTPA es generalmente menos efectivo que el Fe-EDDHA sobre suelos calcáreos.

Otras fuentes son los complejos orgánicos naturales los cuales son fabricados por medio de la reacción de sales metálicas con subproductos orgánicos de la industria de celulosa, tales como lignosulfonatos, fenoles y poliflavonoides. Estos complejos son menos costosos por

unidad de micronutriente que los quelatos, pero también son usualmente menos efectivos (MORTVEDT, 1986).

El guano de corral y otras enmiendas orgánicas no debieran ser vistas como una fuente de Fe aprovechable para las plantas, ya que contienen moléculas orgánicas que quelatan fuertemente el fierro compitiendo con las plantas por este elemento (THOMAS y MATHERS, 1979, citados por MORTVEDT, 1986).

2.5.1.2. Métodos de aplicación

Los principales métodos de aplicación de Fe, según MORTVEDT (1986) son: a) aplicaciones al voleo y/o en banda al suelo, b) aspersiones al follaje, c) aplicaciones al agua de riego y d) inyección de soluciones al tronco de los árboles.

Las aplicaciones al suelo de fuentes de Fe inorgánicas no han resultado efectivas en la mayoría de los casos, debido a la muy rápida conversión a formas no aprovechables para la planta (MORTVEDT, 1986). En suelos bien aireados, el Fe^{2+} es rápidamente oxidado a la forma térrica. Por otra parte, la actividad de Fe^{3+} en la solución del suelo decrece 1.000 veces por cada unidad de incremento del pH del suelo (LINDSEY, 1984, citado por MORTVEDT, 1986).

En este sentido, las aplicaciones en banda son más eficientes que las aplicaciones al voleo, por cuanto el contacto suelo-fertilizante es más limitado en las primeras (MORTVEDT, 1986).

Solo aplicaciones de grandes cantidades de FeSO_4 son efectivas para corregir clorosis férrea en suelos calcáreos, cuando se aplica al voleo. WITHEE y CARLSON (1959), citados por MORTVEDT (1986), lograron altos rendimientos en sorgo con la aplicación de 600 kg/ha de FeSO_4 .

Cuando el FeSO_4 es aplicado al suelo en conjunto con otros compuestos, se incrementa su efectividad. MORTVEDT y GIORDANO (1973), citados por MORTVEDT (1986), aplicaron FeSO_4 junto con $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ en una suspensión con polifosfato de amonio asociado y obtuvieron un incremento en la efectividad del FeSO_4 . Según los autores, esto se explica por cuanto el $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ es un agente reductor el cual aparentemente ayuda a mantener el Fe aplicado en la forma ferrosa por un largo periodo de tiempo.

Las aspersiones foliares, por otra parte, son vastamente usadas. La absorción de Fe ocurre principalmente a través de los estomas, por lo que se requiere que éstos

estén abiertos al momento de la aplicación foliar por lo tanto, las aplicaciones aumentan su efectividad con bajas temperaturas y baja humedad relativa (LEVY y HORESH, 1984, citados por MORTVEDT, 1986). Según los autores, las aspersiones foliares entregan buenos resultados cuando son aplicados durante las estaciones de crecimiento activo de las plantas.

MATUCHA (1984), citado por MORTVEDT (1986), logró corregir clorosis férrica suave en sorgo con la aplicación de 30 g/l de FeSO_4 , empleando 200 l agua/ha. Sin embargo, se requirieron varias aplicaciones para corregir clorosis férricas severas. Sin embargo, el mismo autor encontró que en la aplicación al suelo ocurrió lo contrario para el caso del Fe-EDDHA . HECHT-BOCHHOLZ y GRIMAN (1986) aplicaron a plantas de poroto soya deficientes en Fe , FeSO_4 , Fe-EDTA , $\text{Fe-EDTA} + \text{Urea}$, $\text{Fe-EDTA} + \text{Super fosfato}$ y un producto comercial, el SD 807, que contiene N , Fe , Zn y Mn . El tratamiento $\text{Fe-EDTA} + \text{Urea}$ fue el más efectivo en regenerar cloroplastos y en aumentar el número de granatilacoides, medidos mediante observación con microscopio electrónico.

KADMAN y GAZIT (1984), trabajando con árboles de mango plantados sobre suelo calcáreo en Israel, obtuvieron

muy buenos resultados en corregir clorosis férrica cuando aplicaron una solución de 0,2% de Fe SO₄ o 0,2% de Fe NO₃ al follaje.

La inclusión de un producto surfactante mejora la efectividad de las aspersiones foliares, porque reduce la tensión superficial del líquido, permitiendo uniformar el mojado de las hojas (MURTVEDT, 1986).

Bajas concentraciones de urea en las aspersiones foliares aparentemente mejoran la absorción del nutriente y posibilitan la traslocación del Fe desde el sitio de absorción en la hoja (MURTVEDT, 1986). El mecanismo, sin embargo, aun no está claro. HSO y ASHMEAD (1984), citados por MURTVEDT (1986), encontraron que la inclusión de urea y NH₄NO₃ en las aspersiones foliares aumentó la absorción foliar del Fe, cuando fue aportado como FeSO₄, pero no cuando la fuente de hierro fue un complejo Fe-aminoácido.

La aplicación de fuentes de Fe a través del agua de riego fue ensayada por KADMAN y GAZIT (1984). Ellos obtuvieron buenos resultados en la corrección de la clorosis férrica en árboles de Mango (Mangifera indica) con la aplicación de Sequestrene 138 Fe (Fe EDDHA). Sin embargo, se requirieron grandes cantidades de quelato (60 - 75 Kg/ha, por

año, dando una concentración de 5 mg/lt de quelato en el agua de riego, para que el tratamiento fuera efectivo, lo que lo hace muy costoso. RAZETO (1982) probó la aplicación de productos a un volumen limitado de suelo, utilizando el sistema de riego por goteo, en árboles de duraznero (Prunus persica). El autor obtuvo buenos resultados al aplicar Fe-EDDHA y H_2SO_4 , pero no logró corregir clorosis al aplicar $FeSO_4$. Las cantidades aplicadas fueron 150g de Fe EDDHA, 8L de H_2SO_4 ó 1Kg de $FeSO_4$, por árbol.

La inyección de productos químicos al tronco de los árboles, por otra parte, ha sido ensayada desde hace bastante tiempo (NORTH, 1962). Al igual que las aspersiones al follaje, la inyección de fuentes de hierro corrige rápidamente los problemas de clorosis, pero tienen la ventaja, frente a la primera, de la baja cantidad de producto utilizada en las aplicaciones. En contraste, los investigadores mencionan como desventajas del método la posibilidad de incremento en la susceptibilidad a enfermedades, debido a los daños en el tronco y el alto costo de las labores (MORTVEDT, 1986).

RAESE y PARISH (1984), citados por MORTVEDT (1986), lograron aumentar las concentraciones de Fe de hojas y frutos de peral por 2 años (Pyrus comunis L.), al tratar

los árboles con la inyección en primavera y otoño de una solución de FeSO_4 (10 mg/Kg). En contraste, las aplicaciones foliares de FeSO_4 fueron efectivas sólo por una temporada. BARNEY et al (1984), citados por MORTVEDT (1986), compararon en manzanos la aplicación de FeSO_4 y de FeH_5O_7 (citrato de Fe), inyectadas al tronco (10 g/l, utilizando 100 ml por año de edad del árbol) con la aplicación al suelo de un subproducto acidificado de la industria del cobre, nombre comercial Iron-Sul. Este producto contiene un 50% de Fe, y su efectividad se incrementa de acuerdo a la cantidad de H_2SO_4 libre que contenga el producto. Este último fue parcialmente efectivo en corregir la clorosis sólo al segundo año luego de la aplicación. En contraste, los tratamientos con inyecciones al tronco fueron inmediatamente efectivas, entregando el FeSO_4 una corrección completa de la clorosis, en comparación con el citrato de Fe, el cual la corrigió sólo parcialmente.

Trabajando con árboles de Arce plateado (Acer sacharinum L.) con deficiencia de Fe, HURLEY, WALSER y DAVIS (1986), lograron aumentar los índices de fotosíntesis neta y contenido de clorofila de las hojas, y disminuir la resistencia estomatal difusiva, con la inyección al tronco de 1.800 cc. de una solución al 1% v/v de Sulfato ferroso. Los autores encontraron un incremento dramático en la

concentración foliar de Fe, tan sólo dos días después de la inyección. Ellos sostienen, por otra parte, la posibilidad de que al inyectar los árboles con Sulfato ferroso, exista una activación y mantención de la biosíntesis de clorofila por al menos dos periodos de crecimiento, aun cuando señalan el hecho de que no parece existir una relación entre Fe total y clorofila.

2.5.2. Acidificación del suelo

La acidificación del suelo por medio de ácido sulfúrico (H_2SO_4) o de S elemental ha sido usada para la corrección de la clorosis ferrica (OLSON, 1951; RYAN et al, 1973; MIYAMOTO et al, 1975; citados por KALBASI, MANUCHEHRI y FILSOOF, 1986). La oxidación biológica del S elemental aportado al suelo da como resultado la producción de H_2SO_4 , el cual hace descender el pH del suelo. El H_2SO_4 producido por este proceso, (o el H_2SO_4 aportado como tal al suelo) reacciona con los carbonatos solubles e insolubles, produciendo CO_2 y sales sulfato. (KALBASI, MANUCHEHRI y FILSOOF 1986). Los sulfatos de Ca^{2+} y Mg^{2+} son mucho más solubles que los carbonatos de estos elementos alcalinos (FASSBENDER, 1980). Estas aplicaciones incrementan las sales totales solubles y también la conductividad eléctrica de la solución. Al mismo tiempo, las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} y SO_4^{2-} se incrementan y decrecen las de HCO_3^- en la

solución del suelo. Los contenidos de CaCO_3 obviamente también disminuyen.

La neutralización del CaCO_3 libre en suelos calcáreos ha dado buenos resultados cuando se ha agregado al suelo muy altas cantidades de H_2SO_4 (MORTVEDT, 1986). Esto lo hace impracticable como método de corrección.

WALLACE et al (1976), citados por KALBASI, MANUCHEHRI y FILSUOF (1986), demostraron que no es necesario neutralizar todo el componente calcareo del suelo sobre el cual crece la planta, para prevenir y/o corregir clorosis férrea. RYAN et al (1975), citados por KALBASI, MANUCHEHRI y FILSUOF (1986) usaron la aplicación en bandas de H_2SO_4 para corregir clorosis férrea en pasto bermuda (Cynodon spp.).

WALLACE y MUELLER (1978), citados por KALBASI, MANUCHEHRI y FILSUOF (1986), mostraron que la acidificación de pequeñas porciones de suelo, utilizando una cantidad total de 0,37 g de H_2SO_4 concentrado en 1.000 g suelo (el cual contenía un 10% de CaCO_3) corrigió la clorosis férrea en poroto soya. En cambio, al incorporar una cantidad 5 veces superior de H_2SO_4 en la misma cantidad de suelo, pero homogenizando la mezcla, no se obtenía la misma efectividad.

KALBASI, MANUCHEHRI y FILSOOF (1986), experimentaron en membrillero la acidificación de pequeñas porciones de suelo alrededor de las plantas. Para ello utilizaron S elemental, H_2SO_4 concentrado y H_2SO_4 concentrado + $FeSO_4$. Los mejores resultados en cuanto a neutralización del $CaCO_3$ y descenso del pH de las porciones de suelo acidificadas, como también el aumento en la clorofila total de las hojas de los árboles, fueron entregados por los tratamientos en los que se usó H_2SO_4 y H_2SO_4 + $FeSO_4$. No se detectó diferencia estadística entre ambos tratamientos.

Por otra parte, RAZETO (1982) logró bajar el pH (desde 8,2 a 6,4) y por lo tanto aumentar el Fe aprovechable y corregir la clorosis ferrica en duraznero (Prunus persica), con la aplicación local a través del sistema de riego por goteo, de 20 kg por árbol de S elemental en forma de polvo. De esta forma, acidificando sólo la vecindad de los emisores del sistema de riego por goteo, logró corregir los problemas de deficiencia de Fe.

2.5.3. Prácticas de manejo

La deficiencia férrica puede estar condicionada por las prácticas de manejo del suelo. En cierta medida ellas pueden afectar la disponibilidad de Fe, por los cambios que producen en el ambiente del suelo. Los elevados niveles

de HCO_3^- , especialmente en suelos calcáreos con altos niveles de humedad, afectan la habilidad de la planta para absorber el Fe. El rol del HCO_3^- y del CaCO_3 en la deficiencia de fierro ya fue discutido. Las técnicas de manejo tendientes a aliviar la sintomatología de deficiencia de Fe están principalmente relacionadas a prácticas que dan como resultado una menor compactación del suelo y un mejor drenaje interno (MORTVEDT, 1986).

2.6. Antecedentes sobre la corrección de la deficiencia férrica en palto:

Se ha estudiado extensamente la clorosis férrica en árboles de palto. RAZETO (1984) lo ubica dentro de las especies frutales de mayor susceptibilidad, en el 5º lugar, antecedido por Duraznero (el de mayor susceptibilidad), Damasco, Ciruelo y Peral. Al mismo tiempo, se ha determinado que la susceptibilidad del palto a la clorosis depende de la raza en cuestión. LOPEZ et al (1985), trabajando con plántulas de palto sometidas a diferentes contenidos de CaCO_3 en el suelo (5, 15 y 30% de CaCO_3), establecieron el siguiente orden de susceptibilidad creciente a la clorosis férrica: Razas Antillanas, Razas Mexicanas, Razas Guatemaltecas. Al mismo tiempo, los autores mencionan una variabilidad de las respuestas a los diferentes contenidos de CaCO_3 en el suelo, dentro de una misma raza.

KADMAN y BEN-YA'ACOV (1982), establecieron que los portainjertos provenientes de razas mexicana y guatemalteca, analizados en conjunto, son mucho más susceptibles a la clorosis férrica que los provenientes de la raza antillana. De los portainjertos probados por ellos para el cultivar Hass, el que mostro un menor grado de clorosis sobre suelos calcareos fue B.D. 9/13, de raza Antillana. Para el cultivar Fuerte, el de mejores resultados fue el G1.7, de raza mexicana.

La corrección de la clorosis férrica en paito ha sido largamente estudiada en los trabajos de KADMAN (1962). El autor probó la respuesta de 8 diferentes cultivares de plantas de semilla de un año de edad a suelos con un 65% de CaCO_3 . Los cultivares probados fueron Hass, Nabai, Lula, Fuchsia, Hall y antillano puro. Aproximadamente un mes después del transplante a suelo calcareo, comenzaron a aparecer síntomas en los árboles de mexicola, luego manifestó síntomas el cultivar Etinger (un híbrido de raza mexicana con raza guatemalteca) y también Nabai y Hass (ambas de raza guatemalteca). Finalmente, mostraron síntomas los cultivares Lula, Fuchsia y Hall (híbridos de raza antillana con raza guatemalteca). Sólo las plantas de raza antillana pura no mostraron síntomas. Posteriormente, probaron corregir la clorosis de las plantas utilizando quelatos de Fe

esparcidos al suelo. El Sequestrene 138 Fe (Fe-EDDHA) corrigió la clorosis en forma completa en 2 semanas, mientras el Sequestrene 330 Fe (NaFe-DTPA) tardó un mes en corregir, sólo parcialmente, la clorosis.

En un ensayo posterior, KADMAN (1962) trabajó con arboles del cultivar Fuerte, de 5 años de edad, todos bajo similar estado de clorosis. Los tratamientos consistieron en la aplicación de Sequestrene 138 Fe y Sequestrene 330, en dosis de 30 y 60 gramos por árbol, aplicados esparcido sobre el suelo alrededor de los árboles e inmediatamente regados. A las tres semanas de la aplicación, los árboles tratados con Sequestrene 138 Fe, tanto en la dosis 30 gr/árbol como en la dosis 60 gr/árbol, mostraron una mejoría considerable en el grado de clorosis. Luego de 2 meses de la aplicación, los árboles no mostraron síntomas de clorosis ferrica. En tanto, los árboles tratados con Quelato 330 mostraron solo una leve mejoría.

En experimentos posteriores, KADMAN (1982) corroboró los resultados obtenidos con Sequestrene 138 Fe, esta vez trabajando con dosis de 50 y 100 gr/árbol. Las aplicaciones de Quelato 330, en las mismas dosis, nuevamente fueron poco efectivas.

KADMAN y LAHAV (1972), probaron la aplicación, en el verano de 1968, de distintos productos férricos a árboles de palto adultos. El producto Quelato 56, aplicado al suelo en dosis de 30 gr por cada 2 años de edad del árbol, logró recuperar árboles cloróticos en un mes. La influencia del tratamiento permaneció durante un año. Los árboles tratados con "Feron - F", aplicado al suelo en dosis de 50 gr por cada tres años de edad del árbol, también revirtieron su estado clorótico a sano, sin embargo, presentaron un peculiar color verde azulado. Los árboles tratados con Riplex y Fertilon (ambos al 0,1%) asperjados al follaje, solo mostraron un suave reverdecimiento.

Las primeras experiencias con aplicación mediante inyecciones al tronco de árboles de palto de productos para corregir clorosis férrica, fueron llevadas a cabo por KADMAN y LAHAV, en 1972. Ellos inyectaron, en el verano de 1970, árboles adultos del cultivar Wurtz, severamente cloróticos con las siguientes soluciones: solución al 1% de Sequestrene 138 HFe; Solución al 1% de Sequestrene 138 Fe + 1% de DMSO (Dimetil sulfoxido); solución al 1% de Sequestren 157; solución al 1% de Sequestrene 157 + 1% de DMSO. Los mejores resultados se lograron con la solución de 1% de Sequestrene 138 Fe + 1% de DMSO, logrando cierto reverdecimiento de los árboles, varias

semanas después de la aplicación. Los árboles tratados mostraron, un mes después de la aplicación, 55 ppm de Fe y 0,186 % (peso seco) de clorofila foliar frente, a 35 ppm de Fe y 0,0059% (peso seco) de clorofila foliar en los no tratados. Para estos ensayos, los autores utilizaron jeringas hipodérmicas de 30 cm³ colocando en su interior 20 cm³ de solución. Se utilizó una inyección por árbol.

En ensayos posteriores llevados a cabo en el verano (junio) de 1971, y trabajando con árboles adultos de cv. Wurtz, Edranot y Bonita, KADMAN y LAHAV (1972) obtuvieron un reverdecimiento sólo parcial, 2 meses después del tratamiento, en los árboles tratados con Sequestrene 138 Fe inyectado.

KADMAN y COHEN (1974) probaron distintas técnicas de aplicación de Sequestrene 138 Fe con el fin de corregir clorosis férrea en palto. Estos fueron:

a) Infiltración, que consistió en la colocación de 450 cc de una solución al 1% de Sequestrene 138 Fe dentro de una botella sin fondo, invertida, y conectada al tronco del árbol mediante un tubo de goma y un conector metálico. Este se insertó en un agujero de 8 mm de espesor y 50 mm de profundidad, perforado en el tronco. Se colocó una botella por árbol. El líquido entró al árbol por gravedad y por la

succión de la planta y tardó 48 horas en ser absorbido completamente.

b) Inyección a presión, que consistió en la aplicación de 450 cc de una solución 0,5% ó 1% de Sequestrene 138 Fe. La solución fue introducida, mediante un compresor de aire, en un tubo de goma latex de 12 mm de diámetro, formando un bulbo al hincharse el tubo. La presión en el interior del bulbo alcanzó a 1,4 a 1,5 atm. El tubo de goma se conectó al tronco del árbol en forma similar al caso anterior. Se aplicó una inyección por árbol, tardando el líquido entre 16 y 24 horas en ser absorbido completamente.

c) Aplicación al suelo, en la cual se esparcieron 50 g/árbol de Sequestrene 138 Fe, sobre pequeños surcos hechos alrededor del árbol, e inmediatamente regados.

En una primera fecha de tratamiento (junio de 1972), los autores compararon la aplicación por infiltración con la inyección a presión. Observaron un efecto mucho mayor en los árboles tratados con inyecciones a presión, en cuanto al vigor y cantidad de los nuevos crecimientos como también en cuanto al reverdecimiento de las hojas, que en los árboles tratados con el método de infiltración. Este gran efecto sobre la brotación de los árboles dio como resultado, en un

segundo golpe de crecimiento, en la aparición nuevamente de algunas hojas cloróticas, debido, probablemente, al agotamiento parcial del hierro entregado, ocupado en la primera brotación vigorosa (KADMAN y COHEN, 1974).

Basados en los resultados obtenidos, en los siguientes ensayos los autores estudiaron solo los efectos de la aplicación via inyecciones a presión y los compararon con los efectos de la aplicación al suelo. En la primavera de 1973, midieron el efecto de ambos tratamientos, sobre árboles de los cultivares Wurtz y Edranol. Al momento del tratamiento, se escogieron y marcaron hojas cloróticas que fueron muestreadas posteriormente para determinar contenido de clorofila. No se obtuvo un incremento en el contenido de clorofila de las hojas verdes. En las hojas cloróticas, el incremento en el contenido de clorofila, producto de los tratamiento, no alcanzó, sin embargo, el nivel de las hojas verdes o no cloróticas. Al comparar los resultados entre tratamientos, se determinó que las inyecciones a presión provocaron un incremento mucho mayor y más temprano (10 a 12 días post-tratamiento) en el nivel de clorofila foliar, que la aplicación al suelo, tanto en el cv. Wurtz como en el cv. Edranol. Al mismo tiempo, el nuevo crecimiento fue mucho más abundante y sano en apariencia para el caso de los árboles inyectados.

En una experiencia posterior, KADMAN y COHEN (1974) evaluaron el efecto de la inyección a presión de 250 cc por árbol de una solución 1% de Sequestrene 138 Fe sobre los contenidos foliares de clorofila total y Fe total de árboles del cv. Wurtz que se encontraban en un estado clorótico crítico. Luego del tratamiento, y tal como ocurrió en las experiencias anteriores, el árbol perdió sus hojas y las hojas que aparecieron con la nueva brotación (10 a 14 días post-tratamiento) tenían un color verde oscuro. Los brotes mostraron un gran vigor. Los niveles de clorofila y de Fe total de las hojas fueron rápidamente en aumento.

BAR (1981), citado por KADMAN y COHEN (1982), comparó los efectos de aplicación en palto, mediante inyecciones de infiltración por gravedad al tronco del árbol, de 100 cc por árbol de una solución al 1% de Sequestrene 138 Fe, con 100 cc por árbol de una solución al 2% de Fe SO₄. La mayoría de los árboles reaccionó rápidamente a ambos compuestos. Los síntomas cloróticos desaparecieron dentro de 2 a 3 semanas después del tratamiento. En ambos tratamientos los árboles mostraron nuevos crecimientos vigorosos.

GREGORIOU, PAPADEMETRIOU y CHRISTOFIEDES (1983), trabajando con árboles de palto cv. Hass que presentaban un similar grado de clorosis férrica (clorosis moderada),

compararon la aplicación de FeSO_4 y de quelatos de fierro al suelo de los árboles. Previo a la aplicación, el análisis de suelo entregó un valor de pH de 8,2 y un 35% de CaCO_3 . Los productos utilizados fueron Sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 20% de Fe), Sequestrene 138 Fe (Fe - EDDHA, 6% de Fe), Ferrostrene (Fe - EDDHA, 6% de Fe), Chelene (Fe - EDDHA, 6,8% de Fe) y Iexas (Fe - DTPA, 5% de Fe), cada producto en tres dosis de fierro, correspondientes a 9 g, 18 g y 27 g de Fe equivalente.

En la evaluación de los tratamientos, se determinó que Sequestrene 138 Fe fue el producto que entregó una más rápida recuperación total de los árboles (pasando de un estado de clorosis moderada a ausencia de clorosis en 6 meses), y una completa mantención de los árboles dentro del estado alcanzado luego del tratamiento, durante un periodo de 2 años. No se detectó una diferencia significativa entre las dosis.

El resto de los quelatos aplicados tuvo un comportamiento muy poco satisfactorio, logrando sacar al árbol del estado de clorosis moderada, pero siendo incapaces de mantener el grado alcanzado por más de 3 a 4 meses. Similar comportamiento experimentó el $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ el cual, aún cuando logró disminuir el grado de clorosis, no fue capaz de

mantener por más de 4 meses el grado alcanzado. No existió, asimismo, una diferencia significativa entre las distintas dosis aplicadas.

La medición del incremento en el diámetro del tronco, medido como la diferencia observada luego de dos temporadas, no entregó diferencias significativas entre los tratamientos, aunque sí entre éstos y el control. El rendimiento acumulado de los árboles fue mayor en los árboles tratados con Sequestrene 138 Fe, existiendo un efecto positivo de la dosis de este producto. La medición del contenido foliar de Fe no entregó diferencias significativas entre los tratamientos, ni entre éstos y el control.

2.7. Contenido de clorofila y nivel de clorosis férrica:

La clasificación de los árboles de palto a tratar dentro de una escala de 4 grados de clorosis fue empleada por GREGORIO, PAPADEMETRIOU y CHRISTOFIDES (1983), separando los árboles según el porcentaje de hojas cloróticas que presentaban. La escala establecida por ellos fue la siguiente:

- Árboles sanos: Prácticamente todas las hojas presentan un color verde normal; no se aprecia síntomas de deficiencia de hierro.

- Árboles suavemente cloróticos: Aproximadamente un 10% de las hojas del árbol presentan un patrón clorótico.
- Árboles moderadamente cloróticos: Aproximadamente un 50% de las hojas del árbol presentan un patrón clorótico.
- Árboles severamente cloróticos: Mas del 75% de las hojas del árbol presentan un patrón clorótico; muchas hojas presentan sus márgenes necrosados.

RUIZ, HELLE y ESPINOZA (1980) emplearon una clasificación similar para comparar los resultados de contenido de clorofila foliar en hojas de duraznero, obtenidos por medio de análisis de clorofila, con la sintomatología visual que presentaban dichas hojas.

Sin embargo, los autores no establecieron una escala porcentual en cuanto a hojas cloróticas, solamente establecieron grados de clorosis de acuerdo al estado de los árboles según apreciación visual de la sintomatología de clorosis, a saber : árbol sano, árbol ligeramente clorótico, árbol moderadamente clorótico y árbol severamente clorótico.

El empleo del método de medición de clorofila como indicación indirecta del contenido de fierro foliar, fue estudiado por RUIZ, HELLE y ESPINOZA (1980), quienes determinaron que existe una alta correlación entre el contenido de clorofila de la hoja del duraznero determinado por el método, y el grado de clorosis férrica que se observa por apreciación visual. Determinaron, también, que el análisis del contenido foliar de fierro total no entrega resultados que tengan una buena correlación con el grado de clorosis férrica de las hojas que se pueda determinar por apreciación de sintomatología visual (GREGORIOU, PAPADEMETRIOU y CHRISTOFIDES, 1983). Esto, según TERRY y ABADIA (1986), podría deberse a que el fierro que participa en la síntesis de clorofila corresponde a una forma especial de fierro llamada por ellos "fierro activo", el cual sería sólo una fracción del fierro total de la hoja, determinado por el análisis foliar.

KADMAN y COHEN (1974), usaron el método de medición del contenido de clorofila para estudiar los efectos de la corrección de la deficiencia de fierro en paltos. El método usado, tanto por KADMAN y COHEN como por RUIZ, HELLE y ESPINOZA, corresponde a una modificación del método de MACKINNEY, según la AOAC (1970).

La evaluación de los resultados de los tratamientos mediante medición del incremento del diámetro del tronco, fue utilizada por GREGORIOU, PAPADEMETRIOU y CHRISTOFIDES (1983), para sus experiencias con quelatos de fierro en paltos, cv. Hass.

3. MATERIAL Y METODO

La investigación fue desarrollada en un huerto de paltos (Persea americana Mill) cv. Hass ubicado en la zona de La Cruz, Provincia de Quillota, V Región. Se trabajó en un cuartel cuyos árboles contaban con una edad de 7 a 9 años. Estan plantados en cuadrado, a una distancia de 6x6 m y son regados por borde. El suelo es de tipo aluvial, de textura franco arenosa a arenosa, con estratas franco arcillosas en profundidad. El pH del suelo en los primeros 20 cm de suelo es de 8.11 y el porcentaje de CaCO_3 alcanza al 5.38 %.

Para seleccionar los árboles que serian objeto de estudio, se procedió a confeccionar un mapa del cuartel donde se identificó cada árbol de acuerdo al nivel de clorosis. Al mismo tiempo, los arboles que presentaban sintomas de problemas sanitarios, tal como tristeza del palto (a.c. Phytophthora cinnamomi), fueron descartados. Esto no impidió, sin embargo, que un porcentaje no despreciable de los arboles (alrededor de un 5%) mostraran sintomas de esta enfermedad en el invierno de 1987, haciendose más evidentes en la primavera de ese año. Con el fin de no interferir con los ensayos, se decidió no tratar los árboles con el tratamiento habitual de Aliette (i.a. Fosetyl - Al) inyectado a presión al tronco.

Los árboles aptos para los ensayos, fueron clasificados de acuerdo al grado de clorosis que presentaban, en una escala de 4 grados o niveles de clorosis iérrica, a saber:

NIVEL 1 = árbol sano.

NIVEL 2 = árbol con clorosis leve.

NIVEL 3 = árbol con clorosis moderada.

NIVEL 4 = árbol con clorosis severa.

El criterio de evaluación, como también los porcentajes de hojas cloróticas comprendidos en los tramos de la escala, son detallados en el subcapítulo mediciones.

De esta forma, se obtuvieron 4 grupos de árboles, según su grado de clorosis. De cada grupo se eligieron, mediante un sorteo simple, 24 árboles, los que fueron aleatoriamente asignados a los siguientes tratamientos:

T1 : Inyección a presión de una solución de Sequestrene 138
Fe, dosis 0 g/l

T2 : Inyección a presión de una solución de Sequestrene 138
Fe, dosis 15 g/l

T3 : Inyección a presión de una solución de Sequestrene 138
Fe, dosis 30 g/l

- T4 : Inyección a presión de una solución de Sequestrene 138 Fe, dosis 60 g/l
- T5 : Inyección a presión de una solución de Sulfato ferroso (Fe SO₄), dosis 0 g/l
- T6 : Inyección a presión de una solución de Sulfato ferroso, dosis 15 g/l
- T7 : Inyección a presión de una solución de Sulfato ferroso, dosis 30 g/l
- T8 : Inyección a presión de una solución de Sulfato ferroso, dosis 60 g/l.

De acuerdo a esto, la experiencia se desarrolló en base a 4 ensayos, como sigue:

Ensayo 1: Efecto de la fuente de Hierro y de la dosis sobre los síntomas de deficiencia de hierro en árboles sin síntomas iniciales de deficiencia férrica (Nivel 1).

Fuente de Hierro: Sequestrene 138 Fe = 0 g/l

15 g/l

30 g/l

60 g/l

Sulfato ferroso = 0 g/l
 15 g/l
 30 g/l
 60 g/l

Ensayo 2: Nivel 2.

Ensayo 3: Nivel 3.

Ensayo 4: Nivel 4.

Cada ensayo se realizó en base a un Diseño Completamente Aleatorizado a dos factores: Fuente de Hierro (Sequestrene 138 Fe y FeSO_4) y dosis (0, 15, 30 y 60 g/l) dispuestos en un arreglo factorial 2x4 con 3 repeticiones.

Los productos empleados fueron Sequestrene 138 Fe 50 100, i.a. NaFe - EDDHA (Sodio-Hierro etilendiamino di-(0-hidroxifenilacetato)), contiene un 6% de hierro y su formulación es en polvo. El producto Sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) contiene un 20% de hierro, y su formulación es cristalizado.

Los tratamientos fueron aplicados en el mes de noviembre de 1986.

La aplicación se realizó mediante la inyección

a presión de las soluciones de los productos. Para ello, se utilizó inyectores a presión, idénticos a los utilizados en el tratamiento de la enfermedad tristeza del palto (a.c. Phytophthora cinnamomi), y cuya composición se detalla a continuación:

- Cámara de aire : Construida en tubo de PVC de 32 mm, en su interior se coloca la solución a inyectar. En un extremo se conecta la manguera plástica y en el otro la válvula.
- Conector metálico: Construido en bronce, posee un extremo con nido cónico para ser insertado firmemente al tronco; en el otro extremo se conecta la manguera plástica.
- Manguera plástica: Tiene un diámetro interno de 5 mm, es transparente y une el conector con la cámara de aire.
- Válvula : Permite bombear aire a la cámara, y mantener la presión interna. Al extraer la válvula, por el orificio en que va inserta se coloca la solución a inyectar.

El procedimiento de inyección fue el siguiente: se determinó la ubicación de los orificios, procurando abarcar todo el perímetro del tronco, para lograr una mejor distribución de la solución. Se perforaron tantos agujeros como fueron necesarios con un taladro de mano y broca de 4 mm. A continuación se procedió a introducir el conector

metalico. Luego, se extrajo la válvula y se introdujo a la cámara 20 cm³ de solución, se colocó la válvula, y se procedió a bombear aire con una bomba de mano, hasta lograr una presión interior de 2 atm. Los inyectores fueron dispuestos en forma vertical, colgados del arbol y con la manguera plastica estirada. La solución tardó 10 a 20 minutos en consumirse completamente.

El numero de inyectores a utilizar por arbol dependio del tamaño de este, colocandose 1 inyector por cada 3 m² de area de proyección del follaje del arbol sobre el suelo. Esta distribución ha sido probada anteriormente en palto para la aplicación de fungicidas (Allette (i.a. ioseyl-AI) y acido iósioroso) para el tratamiento de la tristeza del palto, dando buenos resultados *.

Con el fin de contrastar el efecto de los tratamientos, en cada ensayo se realizaron evaluaciones de las siguientes variables:

a) Longitud media de ramillas del arbol, medida en abril de 1987 y en noviembre de 1987.

GARDIAZABAL, F. 1986. Ing. Agr. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Comunicación personal.

Previo a la aplicación de los tratamientos, se escogió al azar un número determinado de ramillas por árbol, las cuales fueron marcadas, 5 cm bajo el apice, con hilo elastico para ser identificadas en las posteriores mediciones. Con el fin de aleatorizar la elección de las ramillas, se utilizó el siguiente método:

- ramillas que estuvieran ubicadas a 1,5 m del suelo, para lo cual se utilizó una vara de 1,5 m de largo.
- ramillas separadas unas de otras por 0,5 m recorriendo todo el perímetro del árbol.

Debido a la gran rotación lateral de las ramillas de paito, se procedió a realizar la medición siguiendo siempre el eje de crecimiento de dicha ramilla, esto es, a través del brote apical de esta. No se midió la longitud de los brotes laterales.

Las ramillas fueron medidas en cada fecha de la siguiente manera: la medición de Abril de 1987 correspondió a la longitud de la ramilla, medida entre la marca y el apice, menos 5 cm. La medición de noviembre de 1987, correspondió a la longitud de la ramilla entre la marca y el apice, y menos 5 cm.

b) Diámetro medio de ramillas del árbol, medido en abril de 1987 y noviembre de 1987.

En las mismas ramillas escogidas para el caso anterior, se midió, en las fechas descritas, el diámetro de la ramilla, 10 cm bajo el ápice de esta. Se utilizó para ello un pie de metro.

c) Incremento del perímetro del tronco.

Se obtuvo en base a la diferencia entre las mediciones de las fechas, que fueron noviembre de 1986 (antes de la aplicación de los tratamientos) y noviembre de 1987.

La medición en cada fecha se efectuó 5 cm sobre el punto de injertación, aún visible en los árboles, y se utilizó para ello una ruleta de medir.

La información correspondiente a la medición de las variables longitud media de ramillas, diámetro medio de ramillas e incremento del perímetro del tronco en cada ensayo, fue analizada estadísticamente a través del siguiente modelo, de acuerdo al diseño utilizado:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk}$$

$$i = 1, 2; \quad j = 1, \dots, 4; \quad k = 1, 2, 3.$$

donde:

Y_{ijk} : Representa a la variable respuesta del k -ésimo árbol, tratado con el producto i en una dosis j .

μ : representa una media general.

α_i : Representa el efecto del i -ésimo producto.

β_j : Representa el efecto de la j -ésima dosis.

$(\alpha\beta)_{ij}$: Representa el efecto conjunto de i -ésimo producto con la j -ésima dosis.

ϵ_{ijk} : Representa el error experimental.

Se asumió independencia, normalidad y homogeneidad de varianzas para los errores y las restricciones habituales de estimabilidad para los parámetros.

d) Concentración de clorofila total (a+b) foliar.

Fue evaluada en 2 fechas, abril de 1987 y abril de 1988. Para los efectos de la medición, y con el fin de medir esta variable en hojas de igual edad, en cada fecha se colectó la 2ª y 3ª hoja de ramillas escogidas aleatoriamente de entre las ramillas del árbol ubicadas a 1 m de altura desde el suelo, y separadas entre sí por 0,5 m. Para ello, se utilizó una varilla de 1m de largo y otra de 0,5m de largo, en similar forma a la selección de las ramillas para la medición de la variable de longitud media de ramillas.

Las hojas así obtenidas fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Católica de Valparaíso y se les determinó la concentración de clorofila total (a+b), según el método de determinación de clorofila de SESTAK (1970). Los cálculos de la concentración de clorofila total se efectuaron mediante las ecuaciones propuestas por MACKINNEY-ARNON (1949), citado por KRUIZ, HELLE y ESPÍNOZA, 1980).

La información correspondiente a la determinación de clorofila, para las dos fechas de evaluación (abril 87 y abril 88), fue analizada estadísticamente a través del modelo descrito para el análisis de las variables longitud media de ramillas, diámetro medio de ramillas e incremento del perímetro del tronco. Sin embargo, se incluyeron modificaciones correspondientes al hecho que sólo se contó con una observación por tratamiento. Esto último, debido a que para la realización del análisis factorial, a partir del cual se obtienen las determinaciones de juntaron las hojas provenientes de los 3 árboles asignados a un mismo tratamiento.

Debido a lo anterior, no fue posible contrastar las Hipótesis de Interacción de la forma habitual. Es por

ello que este contraste se realizó a través del Test de no aditividad propuesto por Tuckey (2).

e) Grado de clorosis del árbol.

Se realizó una medición mensual, entre noviembre de 1986 (aplicación de los tratamientos) y abril de 1988, ambos meses incluidos.

Para estos efectos, para cada árbol y en cada fecha se seleccionó aleatoriamente ramillas ubicada a una altura de 1,5 m y separadas por 0,5 m, recorriendo todo el perímetro del árbol, siguiendo el mismo método descrito para las variables longitud media de ramilla, diámetro medio de ramillas y concentración de clorofila total.

Con el fin de trabajar con hojas de igual edad en todas las fechas, a las ramillas así escogidas se les determinó mediante apreciación visual, el estado clorótico de la 5ª hoja (madura) y 2ª hoja (nueva), para el caso de las evaluaciones comprendidas entre los meses de diciembre y febrero, y de la 4ª y 3ª hoja (maduras), para las evaluaciones comprendidas entre los meses de marzo a noviembre. Cada hoja se clasificó como clorótica o no clorótica. De acuerdo a esto, se obtuvo un porcentaje de

hojas cloróticas del árbol. Con este dato, se clasificó al árbol dentro de una escala de 4 niveles, a saber:

NIVEL 1: Árbol sano. Entre 0% y 10% de hojas cloróticas.
valor promedio : 5% de hojas cloróticas.

NIVEL 2: Árbol levemente clorótico. Entre 11% y 40% de hojas cloróticas. Valor promedio: 25% de hojas cloróticas.

NIVEL 3: Árbol moderadamente clorótico. Entre 41% y 70% de hojas cloróticas. Valor promedio: 55% de hojas cloróticas.

NIVEL 4: Árbol severamente clorótico. Entre 71% y 100 % de hojas cloróticas. Valor promedio: 85% de hojas cloróticas.

La información así obtenida fue tabulada y analizada inferencialmente, para intentar comparar los tratamientos respecto a la eficiencia que ellos demuestran en eliminar todo vestigio de clorosis presente en el árbol.

La comparación de los tratamientos se realizó a través del modelo:

$$\begin{array}{c}
 \ln (n_{ij}) = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} \\
 \hline
 1 - \pi_{ij}
 \end{array}$$

donde μ , α_i , β_j y $(\alpha\beta)_{ij}$ se definen como en el modelo 116.

n_{ij} : Representa a la proporción esperada de árboles, tratados con el producto "i" en la dosis "j", que al final del ensayo están en estado sano.

Para los efectos de contrastar las hipótesis estadísticas, se empleó el estadístico D de Diferencia de Devianzas, ya que la variable grado de clorosis del árbol es de tipo discreta, y por lo tanto no puede asumirse una distribución normal.

Procesamiento de la Información

La información obtenida en las distintas mediciones realizadas fue procesada en forma computacional, utilizando los software MINITAB y SPSS-X, en el computador IBM LKS, de la Universidad Católica de Valparaíso.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se muestran los resultados del análisis estadístico de la información obtenida a partir de las distintas variables.

Para efectos de ordenamiento, se entregan los resultados y su discusión por ensayos.

4.1. Ensayo 1: Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre los síntomas de deficiencia férrica en arboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass que no presentan síntomas iniciales de deficiencia férrica (Nivel 1).

- Evaluación de las variables de crecimiento.

En el cuadro 1 se presentan los resultados obtenidos para la variable longitud media de ramillas, observándose que no hubo un efecto significativo ni del producto ni de la dosis sobre esta variable, en ninguna de las fechas.

CUADRO 1. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la longitud media de ramillas, luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (nov. de 1987) de la aplicación en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, sin síntomas iniciales de clorosis férrica (Nivel 1).

Tratamientos (prod./dosis (g/l))	Longitud media de ramillas (cm) (1)	
	Abril de 1987	Noviembre de 1987
Seq. 138/0	39,51	58,87
Seq. 138/15	37,32	55,93
Seq. 138/30	39,61	58,17
Seq. 138/60	40,83	61,37
Sul.fso./0	40,75	59,93
Sul.fso./15	37,12	57,10
Sul.fso./30	39,91	57,80
Sul.fso./60	39,13	60,67

(1) Los promedios de las columnas no difieren estadísticamente según Tuckey ($P = 0,05$).

Para la variable diámetro medio de ramillas, al igual que para el caso anterior, no existió efecto de los tratamientos, en ninguna de las fechas, como se observa en el Cuadro 2.

CUADRO 2. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre el diámetro medio de ramillas, medido 10 cm bajo el ápice, luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (nov. de 1987) de la aplicación, en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, sin síntomas iniciales de deficiencia férrica (Nivel 1).

Tratamientos (prod./dosis (g/l))	Diámetro medio de ramillas (mm) (1)	
	Abril de 1987	Nov. de 1987
Seq. 138/ 0	8,40	8,12
Seq. 138/15	7,80	7,80
Seq. 138/30	8,11	7,90
Seq. 138/60	8,33	8,13
Sul. fso/ 0	8,12	7,72
Sul. iso/15	8,42	7,87
Sul. iso/30	8,35	7,76
Sul. iso/60	8,38	7,71

(1) Los promedios de las columnas no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P = 0,05$).

De igual forma, no existió efecto de los tratamientos sobre la variable incremento del perímetro del tronco, como se aprecia en el Cuadro 3.

CUADRO 3. Efecto de la fuente de hierro y de la dosis sobre el incremento medio del perímetro del tronco, luego de 12 meses de la aplicación (noviembre de 1987) en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, sin síntomas iniciales de deficiencia férrica (Nivel 1).

Tratamiento (prod./dosis (g/l))	Incremento medio del perímetro del tronco (cm) (1)
Sul.iso/ 0	3,40
Sul.iso/60	3,33
Sul.iso/30	3,04
Seq.138/ 0	3,02
Seq.138/60	2,91
Seq.138/30	2,93
Sul.iso/15	2,55
Seq.138/15	2,09

(1) Los promedios de las columnas no difieren según Tuckey (P = 0,05).

- Evaluación de la concentración de clorofila total (a+b) foliar.

El análisis determinó que no hubo efecto de los tratamientos sobre esta variable, en ninguna de las fechas, tal como se observa en el Cuadro 4.

CUADRO 4. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la concentración de clorofila total (a+b) foliar, luego de 5 meses (abril de 1987) y de 17 meses (abril de 1988) de la aplicación, en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, sin síntomas iniciales de deficiencia férrica (Nivel 1).

Tratamientos (prod./dosis (g/l))	Concentración de clorofila total (a+b) foliar (mg/g) (1)	
	Abril de 1987	Abril de 1988
Seq.138/ 0	3,01	2,72
Seq.138/15	3,05	3,15
Seq.138/30	3,01	2,97
Seq.138/60	3,35	3,79
Sul.iso/ 0	3,73	3,40
Sul.iso/15	3,08	2,83
Sul.iso/30	3,96	3,00
Sul.iso/60	3,80	3,17

(1) Los promedios de las columnas no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P = 0,1$).

- Evolución del grado de clorosis.

La variación mensual del nivel de clorosis de los árboles del Ensayo 1 es presentada en el Cuadro 5. En el se aprecia que tanto los árboles tratados como los testigos permanecen, en general y durante todas las fechas de observación, en el mismo grado de clorosis (Nivel 1, ausencia de clorosis). Los testigos para el producto Sequestrene 138 Fe presentaron una ligera variación en la primavera de 1987, aumentando suavemente su nivel de clorosis. Similar comportamiento presentan los tratamientos de Sequestrene, dosis 30 y Sulfato de Fe, dosis 15.

Del análisis inferencial de la información utilizada para la confección del Cuadro 2, se puede esperar que, bajo las condiciones del ensayo, el 87,5% de los árboles tratados estén aún sanos al cabo de los 17 meses de experimentación ($P = 0,05$).

CUADRO 5. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la variación mensual del grado de clorosis férrica en árboles de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, sin síntomas iniciales de deficiencia férrica (Nivel 1).

Tratamiento (Prod./Dosis) (g/l)	Grado de clorosis (1)																	
	Mes																	
	N/86	D/86	E/87	F/87	M/87	A/87	M/87	J/87	J/87	A/87	S/87	O/87	N/87	D/87	E/88	F/88	M/88	A/88
Seq.138/ 0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Seq.138/ 10	1	1	1	1	1	1	1	1	1,3	1,3	1	1	1	1	1	1	1	1
Seq.138/ 30	1	1	1	1	1	1	1	1	1,3	1,3	1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Seq.138/ 60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sul.fso./ 0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sul.fso./ 10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Sul.fso./ 30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sul.fso./ 60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

(*) Los valores corresponden al promedio de tres repeticiones.

En el Cuadro 5 se observa, un ligero aumento en el nivel de clorosis de ciertos árboles en la primavera de 1987. Esta situación se presenta mayoritariamente en árboles tratados con Sequestrene 138. Este aumento en la clorosis ferrica estaría siendo explicado por la brotación y la reactivación del crecimiento en esta época, la que demanda fierro (TERRY y ABADIA, 1986). Es probable que exista

también una influencia de la fruta sobre esta variable. Esto explicaría el hecho que el testigo para Sulfato ferroso (que obviamente no recibió fierro) tenga un mejor comportamiento en cuanto al grado de clorosis que la dosis 15 g/l del mismo producto. Es posible que uno de los árboles tratados con este tratamiento haya presentado una mayor cantidad de fruta afectando su condición general.

Al analizar el efecto de los tratamientos sobre las distintas variables, se desprende que el tratamiento de arboles sanos, sin síntomas de deficiencia férrica, no afecta el comportamiento futuro de los arboles, como tampoco su crecimiento. Esto fue notado por KADMAN y COHEN (1974), quienes no obtuvieron un aumento significativo del nivel de clorofila foliar en hojas sanas con la aplicación de una solución al 1% de Sequestrene 138 Fe, via inyecciones al tronco, como tampoco sobre el crecimiento de árboles de palto sin síntomas de deficiencia férrica. Lo anterior significa que un árbol sano, dada su condición local de suelo, no presentaría problemas en la absorción de fierro, obteniéndolo en suficiente cantidad, y siéndole innecesaria una aplicación externa. Esto no impide, sin embargo, que la planta, al crecer en tamaño y aumentar su volumen radicular, explore nuevos volúmenes de suelo, que si pueden presentar una baja proporción de Fe aprovechable, dando como resultado

una clorosis férrica. Esto explicaría el hecho de que una planta sana tenga la posibilidad de tornarse clorótica en un determinado momento de su vida, no habiendo manifestado deficiencia férrica con anterioridad.

El efecto de la fruta sobre el estado general del árbol también debiera tener una incidencia en la aparición de síntomas de clorosis en arboles sanos. Es frecuente observar problemas serios de clorosis en árboles con una gran cantidad de fruta *, probablemente debido al debilitamiento general del árbol, producto de sostener y nutrir el alto volumen de fruta.

GARDIAZABAL, F. 1990. Ing. Agr. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Comunicación personal.

4.2. Ensayo 2: Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre los síntomas de deficiencia férrica en arboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass que presentan síntomas iniciales de deficiencia férrica leve.

- Evaluación de las variables de crecimiento.

En el Cuadro 6 se presentan los resultados obtenidos para la variable longitud media de ramillas, observándose que no hubo efecto de los tratamientos, en ninguna de las fechas.

CUADRO 6. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la longitud media de ramillas, luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (nov. de 1987) de la aplicación, en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica leve (Nivel 2).

Tratamientos (prod./dosis(g/l))	Longitud media de ramillas (cm) (1)	
	Abril de 1987	Nov. de 1987
Seq.138/ 0	38,23	56,23
Seq.138/15	38,01	55,03
Seq.138/30	38,93	58,53
Seq.138/60	36,52	56,63
Sul.iso/ 0	38,25	58,67
Sul.iso/15	37,74	58,47
Sul.iso/30	38,30	57,90
Sul.iso/60	37,32	56,47

(1) Los promedios dentro de las columnas no difieren estadísticamente, según el test de Tuckey ($P = 0,05$).

Con respecto al diámetro medio de ramillas, se determinó que no hubo efecto de los tratamientos en ninguna de las fechas. La información se presenta en el Cuadro 7.

CUADRO 7. Efecto de la fuente de hierro y de la dosis sobre el diámetro medio de ramillas (medido 10 cm bajo el ápice) luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (nov. de 1987) de la aplicación, en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica leve (Nivel 2).

Tratamiento (prod./dosis(g/l))	Diámetro medio de ramillas (mm) (1)	
	Abril de 1987	Nov. de 1987
Seq.138/ 0	8,00	6,91
Seq.138/15	8,43	7,37
Seq.138/30	8,35	7,69
Seq.138/60	8,23	7,90
Sul.iso/ 0	8,10	7,68
Sul.iso/15	8,12	7,56
Sul.iso/30	8,02	7,93
Sul.iso/60	8,27	7,60

(1) Los promedios dentro de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P = 0,05$).

De igual manera para la variable incremento del perímetro del tronco, se determinó que no existió efecto de los tratamientos, como se aprecia en el Cuadro 8.

CUADRO 8. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre el incremento del perimetro del tronco, luego de 12 meses de la aplicación (noviembre de 1987) en árboles de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia ferrica leve (Nivel 2).

Tratamiento (prod./dosis (g/l))	Incremento medio del perimetro del tronco (cm) (1)
Sul.iso. / 15	4,00
Sul.iso. / 0	3,91
Seq 138 / 0	3,67
Seq 138 / 15	3,67
Seq 138 / 30	3,33
Seq 138 / 60	3,30
Sul.iso / 60	3,21
Sul.iso / 30	2,98

(1) Los promedios de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P = 0,05$)

- Evaluación de la concentración de clorofila total (a+b) foliar.

El análisis determinó que no hubo efecto de los tratamientos, luego de 5 meses de la aplicación (abril de 1987). Si existió efecto de la fuente de fierro sobre la concentración de clorofila total foliar, al cabo de 17 meses de experimentación. Sin embargo, no hubo efecto en esa fecha de las dosis utilizadas. La información se presenta en el Cuadro 9.

CUADRO 9. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la concentración de clorofila total (a+b) foliar, luego de 5 meses (abril de 1987) y 17 meses (abril de 1988) de la aplicación en árboles de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass que presentan síntomas iniciales de deficiencia férrica leve (Nivel 2).

Concentración de clorofila total (a+b) foliar (mg/g) (1)			
Tratamientos (prod/dosis (g/l))	Abril de 1987	Producto	Abril de 1988
Seq 138/60	3,50	Sul. iso	3,15 a
Sul.iso/15	3,15		
Seq 138/30	3,06		
Sul.iso/30	2,89	Seq. 138	2,38 b
Sul.iso/60	2,72		
Seq 138/15	2,70		
Seq 138/0	2,58		
Sul.iso/0	2,48		

(1) Promedios con igual letra dentro de las columnas no difieren estadísticamente, según el test de Tukey ($\alpha = 0,1$).

Se aprecia una mejor respuesta, luego de 17 meses, al producto Sulfato ferroso, el cual contiene un porcentaje mayor de Fe que el Sequestrene 138 Fe, explicando dicho comportamiento.

- Evolución del grado de clorosis

La variación mensual del nivel de clorosis de los árboles se presenta en la Cuadro 10.

CUADRO 10. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la variación mensual del grado de clorosis férrica en árboles de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica leve (Nivel 2).

Tratamiento (prod./dosis) (g/l)	Grado de clorosis (1)																	
	Mes																	
	N/86	D/86	E/87	F/87	M/87	A/87	M/87	J/87	J/87	A/87	S/87	O/87	N/87	D/87	E/88	F/88	M/88	A/88
Seq. 138/ 0	2	2	1,7	1,7	2	2	1,7	1,7	2	2	1,7	2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Seq. 138/ 15	2	1	1	1	1,3	1,3	1,3	1,7	1,7	1,3	1,3	2	2	2	2	2	2	2
Seq. 138/ 30	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,3	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Seq. 138/ 60	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Sul.fso/ 0	2	2	2	2	2	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2	2	2	2	2	2
Sul.fso/ 15	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1,3	1	1	1	1	1	1	1	1
Sul.fso/ 30	2	1,3	1	1	1	1	1	1,3	1,3	1,3	1,3	1	1	1	1	1	1	1
Sul.fso/ 60	2	1,3	1	1	1	1,3	1,3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

(*) Los valores corresponden al promedio de tres repeticiones.

Del análisis interencial de la información utilizada para la confección del Cuadro 10, se determinó que la proporción de árboles, con grado de clorosis leve, que alcanzan el estado sano al final del periodo de experimentación, depende del producto aplicado, no así de la dosis de aplicación. Al realizar las comparaciones entre ambos productos, se puede apreciar que al aplicar Sulfato ferroso, se obtienen mejores resultados que al aplicar Sequestrene 138 Fe, como se observa en el Cuadro 11.

CUADRO 11. Efecto de la fuente de fierro, sobre la proporción observada de árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass con síntomas iniciales de deficiencia leve, que alcanzan el estado sano (Nivel 1), luego de 17 meses de la aplicación.

Producto	Proporción observada (%)	(Abril de 1988) (1)
Sulfato ferroso	92	a
Sequestrene	33	b

(1) Valores con igual letra dentro de la misma columna no difieren estadísticamente, según el test de Tukey ($P = 0,05$).

Al comparar la efectividad de las dosis de sulfato ferroso para llevar un árbol levemente clorótico lo más rápidamente posible al estado sano, se comprueba que sólo existen diferencias significativas entre el testigo y el resto de las dosis, no existiendo diferencia entre aplicar 15, 30 o 60 gr/l de Sulfato ferroso (Cuadro 12).

CUADRO 12. Efecto de la dosis de Sulfato ferroso sobre el tiempo promedio (en meses) que demora un árbol de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass con síntomas iniciales de deficiencia férrica leve (Nivel 2) en alcanzar el estado sano por primera vez (Nivel 1).

Dosis Sulfato Ferroso (g/l)	Tiempo promedio (meses) (1)	
0	5* (9,3**)	a
15	1	b
30	1,33	b
60	1,33	b

(1) Promedios con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente, según el test de Tuckey ($P = 0,05$).

(*) Considera sólo los árboles que alcanzaron el estado sano.

(**) Considera todos los árboles tratados con la dosis.

En el Cuadro 10 se aprecia que los mejores resultados en cuanto a lograr mantener un árbol del nivel 2 de deficiencia en el nivel 1, luego de una aplicación, se obtiene utilizando Sulfato ferroso, en cualquiera de sus dosis, lo que se confirma con los resultados del análisis inferencial. Este hecho concuerda con la información del Cuadro 9, en que se aprecia una mayor concentración de clorofila total en las hojas de los árboles tratados con Sulfato ferroso que en aquellas de árboles tratados con Sequestrene 138 Fe. Es probable que el mayor contenido de hierro del Sulfato ferroso (20%, contra un 6% del Sequestrene 138 Fe), permita al árbol mantener una

cantidad mayor de Fe acumulado, utilizable en crecimientos futuros.

Los arboles tratados, como también los no tratados, se mantuvieron, durante los 17 meses de experimentación, entre los grados 1 y 2 de clorosis (con excepción del testigo para Sequestrene 138 Fe), es decir, presentando siempre un porcentaje promedio mucho menor de hojas cloróticas que de hojas no cloróticas (25% promedio contra un 75% promedio, respectivamente). Esto estaría explicando el hecho que la diferencia en los grados de clorosis de los arboles no se manifieste en una diferencia en el crecimiento de las ramillas, como tampoco en una diferencia en el diametro de estas, ya que las hojas sanas estarían supliendo la menor actividad fotosintética de las hojas cloróticas. Similar explicación tiene el hecho que no exista efecto de los tratamientos sobre el incremento del perimetro del tronco.

En el cuadro 10 se aprecia, por otra parte, que el testigo del producto Sequestrene 138 Fe presentó una ligera disminucion en el grado de clorosis, aumentando en alguna forma su proporción de hojas sanas, para volver finalmente al estado inicial. Esto ya fue observado por KADMAN y COHEN (1974), quienes notaron un incremento en el

nivel de clorofila de las hojas de árboles del cv. Wurtz, utilizados como testigo para la experimentación con Sequestrene 138 Fe inyectado a presión. Es posible que, existan variaciones locales en la condición del árbol, no medidas en este ensayo (variables como riego, condición sanitaria, etc.) que estén influyendo en la capacidad de absorción.

En el Cuadro 10 se aprecia también que las dosis 30 y 60 g/l de Sulfato ferroso tardan un tiempo un poco mayor en corregir las clorosis de todos los árboles tratados.

Dado que este comportamiento no se mantiene en el tiempo, es posible pensar que exista un error propio de la medición del grado de clorosis, en ambos casos. Por lo demás, solo uno de los árboles tratados en ambos tratamientos manifiesta este comportamiento. El resto presenta un comportamiento dentro de lo esperado.

En el mismo cuadro es posible observar una tendencia en el efecto del producto Sequestrene 138 Fe sobre la clorosis al aumentar la dosis de aplicación. Mientras más alta es la dosis, existe una mayor respuesta en cuanto a corregir y mantener por un periodo de tiempo mayor el nivel alcanzado. Es comprensible que una dosis más alta de Fe

tenga tal efecto, dada la participación del hierro en la síntesis de la clorofila (TERRÍ y ABADIA, 1986). El Sulfato ferroso, en cambio, presenta un comportamiento general mucho más parejo y con una mayor respuesta inicial en el grado de clorosis, posiblemente debido a su mayor contenido de hierro (20%, contra un 6% de Sequestrene 138 Fe).

Se observa, a mediados de invierno de 1987, un ligero aumento en el nivel de clorosis de ciertos árboles tratados con Sulfato ferroso, condición que es rápidamente revertida. Dicho comportamiento es atribuible a la alta pluviometría del invierno de 1987, situación que mantuvo los árboles en una condición de alta humedad en la zona de las raíces. Esta condición aumenta el nivel de CO_2 en el suelo, debido al bajo intercambio de gases de un suelo con exceso de humedad. El CO_2 es rápidamente transformado a HCO_3^- , el cual eleva el pH y hace que el hierro pase a formas no aprovechables para la planta (MENDEL y GEURTZEN, 1986).

4.3. Ensayo 3: Efecto de la fuente de Fe y de la dosis sobre los síntomas de deficiencia férrica en arboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass con síntomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

- Evaluación de las variables de crecimiento:

El análisis de la longitud media de ramillas determinó que en ambas fechas existió efecto tanto del producto aplicado, como de las dosis de aplicación. No existió, sin embargo, efecto de la interacción entre ambos. La información se presenta en los Cuadros 13 y 14.

CUADRO 13. Efecto de la fuente de hierro sobre la longitud media de ramillas, luego de 5 meses de la aplicación (abril de 1987) y 12 meses (noviembre de 1987) de aplicación en arboles de palto (Persea americana Mill.) que presentan síntomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

Fuente de hierro	Longitud media de ramillas (cm) (1)	
	Abril de 1987	Noviembre de 1987
Sulfato ferroso	36,47 a	54,30 a
Sequestrene 138 Fe	31,96 b	48,13 b

(1) Promedios con igual letra dentro de las columnas no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P = 0,05$).

En el Cuadro 13 se aprecia que el efecto del sulfato ferroso es mayor que el efecto del Sequestrene 138, sobre la longitud de las ramillas luego de 3 meses de la aplicación. Al mismo tiempo, en el Cuadro 14 se aprecia que, independientemente del producto aplicado, las dosis de aplicación difieren en su efectividad con respecto al testigo, pero no entre ellas.

CUADRO 14. Efecto de la dosis de la fuente de hierro sobre la longitud media de ramillas, luego de 3 meses (Abril de 1987) y 12 meses (Noviembre de 1987) de la aplicación en árboles de paito, (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, que presentan síntomas iniciales de deficiencia ferrica moderada (Nivel 3).

Dosis (g/l)	Longitud media de ramillas (cm) (1)	
	Abril de 1987	Noviembre de 1987
60	44,52 a	62,25 a
30	36,55 a	55,37 a
15	36,18 a	55,56 a
0	22,82 b	33,27 b

(1) Promedios con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tukey ($P = 0,05$).

En el Cuadro 14 se aprecia que no existe una diferencia significativa entre aplicar 15, 30 o 60 g/l de una fuente de hierro, luego de 3 meses de la aplicación. Sin embargo, si existe diferencia entre aplicar cualquiera de estas dosis y el testigo. Este comportamiento se mantiene

luego de 12 meses de la aplicación. Es decir, las ramillas tienen una respuesta similar en cuanto a su crecimiento en longitud en cualquiera de las fechas de medición.

Con respecto a la variable diámetro medio de ramillas, tal como se aprecia en el Cuadro 15, el análisis determinó que existió efecto solo de la dosis de aplicación. Al mismo tiempo, se determinó que no hubo efecto del producto utilizado. En la segunda fecha, existió efecto de la interacción entre productos y dosis.

CUADRO 15. Efecto de la dosis y de la interacción entre fuente de hierro y dosis, sobre el diámetro medio de ramillas, luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (noviembre de 1987) de la aplicación en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass que presentan deficiencia férrea moderada (Nivel 3).

Diámetro medio de ramillas (mm) (1)			
Dosis (g/l)	Abril de 1987	Tratamientos (prod./dosis(g/l))	Noviembre de 1987
30	8,40 a	Sul.iso/ 60	8,00 a
		Seq 138/ 60	7,90 a
15	8,32 a	Sul.iso/ 15	7,70 ab
		Sul.iso/ 30	7,60 ab
60	8,05 a	Seq 138/ 30	7,60 ab
		Seq 138/ 15	6,53 bc
0	6,75 b	Sul.iso/ 0	5,77 cd
		Seq 138/ 0	5,03 d

(1) Los promedios con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tukey ($P = 0,05$).

CUADRO 16. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre el incremento medio del perimetro del tronco, luego de 12 meses de la aplicación (noviembre de 1987), en arboles de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, con sintomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

Tratamientos (prod./dosis (g/l))	Incremento medio del perimetro del tronco (cm) (1)
Seq 138 / 10	3,78
Seq 138 / 30	3,57
Sul.150 / 30	3,46
Seq 138 / 60	3,02
Sul.150 / 60	3,00
Sul.150 / 10	3,01
Sul.150 / 0	2,97
Seq 138 / 0	2,82

(1) Los promedios de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tukey ($P = 0,05$).

- Evaluación de la concentración de la clorofila total (a+b)

foliar:

En ambas fechas (abril de 1987 y abril de 1988), existió efecto de las dosis, pero no de las fuentes de fierro, como se aprecia en el Cuadro 17.

CUADRO 17. Efecto de la dosis de la fuente de fierro sobre la concentración de clorofila total (a+b), luego de 3 meses (abril de 1987) y 17 meses (abril de 1988) de la aplicación, en árboles de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, que presentan síntomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

Dosis (g/l)	Concentración media de clorofila total (a+b) (mg/g) (1)	
	Abril de 1987	Abril de 1988
60	3,14 a	2,88 a
30	2,69 a	2,68 a
15	2,68 a	2,52 a
0	1,75 b	1,34 b

(1) Promedios con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P=0,05$).

Se observa que, en ambas fechas, las dosis 15, 30 y 60 g/l no difieren entre ellas, pero sí con el testigo. Se hubiese esperado que en la segunda fecha (abril de 1988) la concentración de clorofila de las hojas de los árboles tratados se hiciera similar a la de los árboles no tratados, ya que en un año, el fierro aportado debiera haber sido ocupado. Sin embargo, aun cuando la concentración de clorofila de los árboles tratados descendió algo, también lo hizo la de los testigos, manteniéndose la diferencia. Este comportamiento también se ve reflejado en la variación del grado de clorosis del árbol a través de los meses (Cuadro 18).

La producción de fruta por parte del árbol no debiera tener sobre este parámetro el mismo efecto de una brotación, ya que el fruto del palto no es un sink para el fierro. La palta contiene entre 0,5 y 2,7 mg de fierro /100 g. Las hojas, en cambio, contienen entre 5 y 20 mg de fierro /100 g, es decir, alrededor de 8 veces más (ROSENBERG y GARDIAZABAL, 1989). Si presenta un efecto sobre la condición general del árbol y, por lo tanto, condiciona la absorción de fierro por las raíces, afectando indirectamente la concentración de clorofila *.

- Evolución del grado de clorosis:

En el Cuadro 18 esta graficada la información sobre la variación mensual del grado de clorosis de los árboles del ensayo 3. Se aprecia una respuesta muy positiva a la aplicación de Sulfato ferroso, tanto en su dosis 60 g/l como en la dosis 15 g/l, como también de la dosis 60 g/l de Sequestrene Fe 138. Se aprecia, además, una deficiente respuesta a las dosis bajas de Sequestrene 138 Fe, las cuales no logran elevar demasiado la condición del árbol, como tampoco mantenerlo posteriormente en la condición alcanzada.

(*) GARDIAZABAL, F. 1990. Ing. Agr. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Comunicación personal.

CUADRO 18. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la variación mensual del grado de clorosis férrica en árboles de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass con síntomas iniciales de deficiencia férrica moderada (Nivel 3).

Tratamientos (frec./dosis(g/l))	Grado de clorosis (1)																		
	N/86	D/86	E/87	F/87	M/87	A/87	M/87	J/87	J/87	A/87	S/87	O/87	N/87	D/87	E/88	F/88	M/88	A/88	
Seq 100 / 0	3	3	3	3	3	2,7	3	3	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	
Seq 100 / 15	3	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2	2	1,7	1,7	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	
Seq 100 / 30	3	1,7	2	2	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,3	2	2	2	2	2	2	2	
Seq 100 / 50	3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
Sul.fso / 0	3	3	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	3	3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	
Sul.fso / 15	3	1,3	1,7	1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
Sul.fso / 30	3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,7	1,3	1,3	1,3	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	
Sul.fso / 50	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,7	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	

(1) Los valores corresponden al promedio de tres repeticiones.

La proporción observada de árboles que alcanzaron el nivel 1, no depende de la fuente de fierro aplicado sino de las dosis de aplicación, tal como se muestra en el Cuadro 19.

CUADRO 19. Efecto de la dosis de fuente de fierro sobre la proporción observada de árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrea moderada (Nivel 3), que se mantienen en el estado sano (Nivel 1), 17 meses después de la aplicación.

Dosis (g/l)	Proporción observada de árboles (%) (1)
60	68 a
15	33 b
30	18 bc
0	0 d

(1) Los valores con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente, según el test de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Se aprecia que la dosis mas alta (60 g/l) difiere significativamente de las otras dosis en cuanto a la proporción de árboles que logran alcanzar y mantenerse en el Nivel 1.

Al analizar la efectividad de las fuentes de fierro, aplicadas en dosis de 60 g/l, respecto del tiempo que necesita el árbol para alcanzar el estado sano (Nivel 1), por primera vez después de la aplicación (Cuadro 20), se determinó que ambas fuentes de fierro no difieren en el tiempo que demoran, cuando se contabilizan los árboles que efectivamente llegaron al Nivel 1. Sin embargo, sí difieren cuando la proporción se calcula en base al total de árboles tratados con la dosis.

CUADRO 20. Efecto de la fuente de fierro sobre el tiempo promedio (meses) que demora en recuperar al estado sano (Nivel 1), árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia iérrica moderada (Nivel 3).

Fuente de Fierro	Tiempo medio (meses) (1)
Sequestrene 138 Fe	1* a (6,6**b)
Sulfato ferroso	1 a

(1) Los promedios con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P = 0,05$).

(*) Considera solo los arboles que alcanzaron el Nivel 1.

(**) Considera todos los árboles tratados con el producto, en la dosis 60 g/l.

En este sentido, el Sulfato ferroso logró recuperar totalmente todos los árboles tratados con esta fuente, y en esa dosis, demorando un mes en llevarlos al Nivel 1, a diferencia de Sequestrene 138 Fe, el cual no logró recuperar totalmente todos los árboles.

En el análisis de las variables diametro y crecimiento de ramillas no queda de manifiesto, en las fechas de medición, una tendencia clara de respuesta a los tratamientos, teniendo efecto en algunos casos sólo la interacción entre productos y dosis, y en otros sólo las dosis o los productos. Una explicación para este comportamiento podría estar en el hecho que un cierto

porcentaje de los árboles (alrededor de un 15%) mostró, a partir de mayo a junio de 1987, síntomas de tristeza del palto (a.c. Phytophthora cinnamomi), haciéndose más agudos en la primavera de 1987 y verano de 1988. Esta enfermedad reduce la brotación y frena el crecimiento de los árboles, debido a que daña el sistema radical (ROSENBERG y GARDIAZABAL, 1989). Es probable incluso que los árboles que presentaron este problema hayan estado enfermos ya al momento de aplicar los tratamientos y que hayan manifestado la enfermedad, en un primer momento, a través de una deficiencia de hierro. Una enfermedad que ataque al sistema radical, reduce la capacidad de éste para captar los nutrientes del suelo (RAZETU, 1984). Si a esto agregamos la dificultad del hierro de ser absorbido por las raíces en suelos calcáreos como el utilizado para la experiencia, es posible pensar que la deficiencia de Fe sea una de las primeras consecuencias del ataque de Phytophthora cinnamomi. De esta forma, hay una mayor probabilidad que un árbol con síntomas de deficiencia de hierro manifieste posteriormente síntomas de tristeza del palto, a que lo haga un árbol sano, sin síntomas de deficiencia férrica.

Con respecto al no efecto de los tratamientos sobre el incremento del perímetro del tronco, es de esperar que, de existir un aumento de esta variable en los árboles

tratados con respecto a los testigos, esta diferencia no llegue a ser significativa en el rango de tiempo medido (12 meses). GREGORIOU, PAPADEMETRIOU y CHRISTOFIDES (1983), tampoco obtuvieron diferencias significativas en esta variable, en sus ensayos de aplicación de quelatos de fierro al suelo de árboles de palto (Persea americana Mill. cv. Hass), con síntomas moderados a severos de deficiencia de fierro, aún cuando su rango de tiempo fue de 14 meses entre la aplicación y la medición.

En el Cuadro 18 se aprecia que ciertos tratamientos (seq 138 dosis 15 g/l) presentan un pequeño incremento del grado de clorosis durante el invierno y principios de primavera de 1987. Es probable que la alta pluviometría que se registró en esos meses haya alterado la absorción normal del fierro por las raíces, por un exceso de CO₂ en el suelo producto de una pobre aireación del mismo (MENDEL y GEURTZEN, 1986).

Es importante notar que las diferencias en las respuestas en grado de clorosis a los distintos tratamientos, no quedan de manifiesto en la concentración de clorofila total, en ambas fechas (Cuadro 17). Esto puede deberse a que el análisis del grado de clorosis entregue información que la medición de clorofila no aporte, debido a la mayor fidelidad de los resultados de la medición de grado de clorosis. Esta

cuenta con tres observaciones por tratamiento, mientras que el análisis de la concentración de clorofila cuenta sólo con una.

Finalmente, en el Cuadro 18 se observa un mejor comportamiento general de Sulfato ferroso, entregando un mayor porcentaje de arboles en el nivel 1 al final del ensayo. Sólo la dosis 30 g/l de este producto presentó una proporción comparativamente mayor, aunque igualmente pequeña, de arboles cloróticos. Es probable que exista una influencia del incipiente ataque de Phytophthora cinnamomi en algunos árboles tratados, disminuyendo la absorción natural de fierro por las raíces por el daño provocado a éstas (RAZETO, 1984). Existe también la posibilidad que alguno de los árboles tratados con este tratamiento haya presentado una mayor cantidad de fruta en la temporada. La fruta, como se dijo en el ensayo 2, cuando se encuentra en gran cantidad en el árbol, presenta un efecto detrimental sobre la condición general del árbol, afectando la absorción normal de nutrientes por las raíces (y por lo tanto del fierro) y disminuyendo la síntesis de clorofila. Lo anterior se comprueba con el hecho que árboles que presentan una gran carga de fruta en una temporada, a la siguiente manifiesten síntomas de clorosis férrica *.

(*) GARDIAZABAL, F. 1990. Ing. Agr. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Comunicación personal.

4.4. Ensayo 4: Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre los síntomas de deficiencia férrica en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass que presentan síntomas iniciales de deficiencia férrica severa (Nivel 4).

- Evaluación de las variables de crecimiento:

Los resultados entregados por la medición de la longitud media de ramillas, se presentan en el Cuadro 21. Se aprecia que, en la primera fecha hubo efecto de las dosis de aplicación, pero no de los productos aplicados, observándose luego de 5 meses de la aplicación una diferencia significativa entre la aplicación o no aplicación de fierro al árbol, pero no de la forma en que este elemento esté siendo aportado. Luego de 12 meses de la aplicación, en cambio, si existen diferencias en la efectividad de los tratamientos, observándose efecto de la interacción entre productos y dosis.

CUADRO 21. Efecto de la dosis y de la interacción entre fuente de fierro y dosis de aplicación sobre la longitud media de ramillas, luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (noviembre de 1987) de la aplicación, en arboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass con síntomas iniciales de deficiencia férrica severa (Nivel 4).

Longitud media de ramillas (cm) (1)			
Dosis (g/l)	Abril de 1987	Tratamientos (prod./dosis (g/l))	Noviembre de 1987
60	37,45 a	Seq 138 / 30	58,87 a
		Sul.iso / 60	58,60 a
30	37,30 a	Sul.iso / 15	57,67 ab
		Seq 138 / 60	55,50 ab
15	36,35 a	Sul.iso / 30	52,97 ab
		Seq 138 / 15	47,77 b
0	14,67 b	Sul.iso / 0	22,53 c
		Seq 138 / 0	20,83 c

(1) Las promedios con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P = 0,05$).

En el Cuadro 21, se aprecia, luego de 17 meses de la aplicación un efecto significativamente distinto de la dosis más alta de Sulfato ferroso con la dosis 15 g/l de Sequestrene 138 Fe, notándose luego de 12 meses de la aplicación, un efecto diferenciado entre ambos niveles de aplicación.

Con respecto a la variable diámetro medio de ramillas, el análisis determinó que hubo efecto de las dosis de aplicación, pero no de los productos, como se aprecia en el Cuadro 22.

CUADRO 22. Efecto de la dosis de la fuente de fierro sobre el diametro medio de ramillas luego de 5 meses (abril de 1987) y 12 meses (noviembre de 1987) de la aplicación, en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass con síntomas iniciales de deficiencia férrica severa (Nivel 4).

Dosis g/l	Diametro medio de ramillas (mm) (1)	
	Abril de 1987	Noviembre de 1987
60	8,40 a	7,72 a
30	7,93 a	7,48 a
15	7,92 a	7,50 a
0	5,82 b	5,17 b

(1) Promedios con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P = 0,05$).

Se aprecia que, en ambas fechas, el diámetro de las ramillas no difiere significativamente entre la dosis más baja (15 g/l) y la dosis más alta (60 g/l), pero sí entre estas y el testigo. Es decir, en ambas fechas existe sólo diferencia entre aplicar y no aplicar, pero no alcanza a manifestarse, como en el caso de la longitud media de ramillas, un efecto de la interacción entre productos y dosis. Es probable que el efecto sea detectable en un rango de tiempo mayor al del experimento.

Al igual que en el caso del ensayo 3, un cierto número de árboles del ensayo 4 manifestó síntomas de tristeza del palto (a.c. Phytophthora cinnamomi) a mediados de 1987, haciéndose mas evidentes hacia la primavera de ese

año. Esto incluyó una fuente de variación en el experimento, dando como resultado una respuesta poco clara a los tratamientos de fierro, medida a través del crecimiento de las ramillas. Esto explicaría la baja respuesta a los tratamientos Sequestre 138 dosis 60 g/l y Sulfato ferroso dosis 30 g/l los cuales no difieren estadísticamente del tratamiento Sequestre 138 dosis 15 g/l. Es probable también que exista influencia de una mayor carga de fruta en estos arboles, con el consiguiente efecto sobre su condición general.

Para el caso de la variable incremento medio del perímetro del tronco y en forma similar a lo ocurrido en los ensayos anteriores, no hubo efecto de los tratamientos. La información se presenta en el Cuadro 23. Esto concuerda con lo observado por GREGORIOU, PAPADEMETRIOU y CHRISTOFIDES (1983), quienes no encontraron diferencias significativas en esta variable entre arboles tratados con quelatos al suelo y los arboles testigo, 14 meses después de la aplicación.

CUADRO 23. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre el incremento medio del perimetro del tronco, luego de 12 meses de la aplicación (noviembre de 1987) en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass que presentan síntomas iniciales de deficiencia férrica severa (Nivel 4).

Tratamientos (prod./dosis (g/l))	Incremento medio del perimetro del tronco (cm) (1)
Sul.iso / 60	3,68
Seq 138 / 60	3,57
Seq 138 / 30	3,40
Seq 138 / 15	3,19
Sul.iso / 30	3,13
Sul.iso / 15	3,01
Seq 138 / 0	2,50
Sul.iso / 0	2,49

(1) Los promedios de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P = 0,05$).

- Evaluación de la concentración de clorofila total (a+b)
foliar

El análisis determinó que, en ambas fechas, hubo efecto de la dosis, pero no de los productos, tal como se observa en el Cuadro 24.

CUADRO 24. Efecto de la dosis de fuente de fierro sobre la concentración de clorofila total (a+b) foliar luego de 5 meses (abril de 1987) y 17 meses (abril de 1988) en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas de clorosis térrica severa (Nivel 4).

Dosis (g/l)	Concentración de clorofila total(a+b) (mg/g) (1)	
	Abril de 1987	Abril de 1988
60	3,02 a	2,38 a
30	2,85 a	2,55 a
15	2,69 a	2,46 a
0	1,04 b	0,99 b

(1) Los promedios con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P = 0,1$).

En el Cuadro 24 se aprecia que la concentración de clorofila no difiere entre las dosis 15, 30 o 60 g/l pero si entre éstos y el testigo, en ambas fechas.

Al mismo tiempo, se observa una tendencia a la disminución en la concentración de clorofila total en abril de 1988, con respecto a abril de 1987, acercándose al valor del testigo.

Los resultados obtenidos por la medición de la concentración de clorofila concuerdan en general, con el comportamiento de las ramillas en cuanto a su crecimiento en longitud y diametro (Cuadros 21 y 22), ya que en ambos

prevalece el efecto de las dosis (con excepción de la longitud media de ramillas en noviembre de 1987). Lo anterior estaría indicando una mayor eficiencia del Sequestrene 138 Fe para entregar el fierro aportado, ya que este producto contiene solo un 6% de Fe, contra un 20% de Fe del Sulfato ferroso. Este compuesto inorgánico, cuando está en solución, se encuentra ionizado ($\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$), en contraste con el quelato Sequestrene 138 Fe, que no se ioniza. Es probable que exista un mejor transporte del fierro cuando éste se encuentra asociado a una molécula orgánica que lo inactiva, que cuando se encuentra en la forma iónica, con posibilidad de ser incorporado en proteínas que contienen fierro en su estructura, y que no necesariamente cumplen una función en la fotosíntesis o en la síntesis de clorofila (TERRY y ABADIA, 1986). El fierro, en condiciones naturales de absorción por las raíces, es transportado por el xilema hacia la hoja, probablemente formando un complejo citrato- Fe^{3+} (TERRY y ABADIA, 1986). Incluso se ha detectado la presencia de otros compuesto orgánicos (como el ácido mugineico) que podrían quelatar y transportar el fierro dentro de la planta (HOFNER, 1970, citado por TERRY y ABADIA, 1986). En cambio, es muy poco probable el movimiento de fierro en forma iónica por el xilema (TERRY y ABADIA, 1986). De acuerdo a esto, la planta debiera quelatar primero el fierro iónico para luego transportarlo.

- Evolución del grado de clorosis

La variación mensual del grado de clorosis de los árboles del ensayo 4 se presenta en la Cuadro 25, apreciándose un comportamiento significativamente diferente de los árboles tratados con respecto a los testigos. Se observa una rápida reacción a los tratamientos, los cuales, sin excepción, fueron capaces de sacar a todos los árboles del grado de clorosis severa.

CUADRO 25. Efecto de la fuente de hierro y de la dosis sobre la variación mensual del grado de clorosis férrica en árboles de palto (Persea americana Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica severa (Nivel 4).

Tratamiento (prod./dosis) (g/l)	Grado de clorosis (1)																	
	Mes																	
	N/86	O/86	E/87	F/87	M/87	A/87	M/87	J/87	J/87	A/87	S/87	O/87	N/87	D/87	E/88	F/88	M/88	A/88
Seq. 138 / 0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3,7	3,7	3,7	4	4	4	4	4
Seq. 138 / 15	4	2	2	2	2	2	2,3	2,7	2,7	2,7	2,7	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Seq. 138 / 30	4	1	1	1	1,3	1,3	1,7	1,7	1,3	1,3	1,7	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Seq. 138 / 60	4	2	1,7	2	2	2	2	2	2,3	2,3	2	2	2	2	2	2	2	2
Sul.fso / 0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Sul.fso / 15	4	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Sul.fso / 30	4	2,7	2,7	2,7	2,3	2,3	2	2	2	2	2,7	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Sul.fso / 60	4	1,7	1,7	1,7	1,3	1,3	1	1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

(1) Los valores corresponden al promedio de tres repeticiones.

Esta rápida reacción de los árboles al hierro entregado, cambiando completamente su condición clorótica en

un periodo menor o igual a un mes, fue observada también por KADMAN y COHEN (1974), quienes obtuvieron respuestas similares, logrando un rápido reverdecimiento de árboles de palto tratados con Sequestrene 138 Fe inyectado al tronco. HURLEY, WALSER y DAVIS (1986) observaron un aumento dramático en la fotosíntesis luego de la inyección de Sulfato ferroso (al 1%) al tronco de Arce plateado (Acer sacharinum). Según PLATT-ALUJA et al (1983), citados por KADMAN y LAHAV (1982), lograron, en dos a tres semanas, recuperar totalmente árboles de palto clorótico con la inyección de Sulfato ferroso al tronco.

En nuestro ensayo, no todos los tratamientos, sin embargo, fueron capaces de llevar al árbol al Nivel 1. El Sulfato ferroso en dosis 60 g/l y el Sequestrene 138 Fe en dosis 30 g/l entregaron una mejor respuesta en este sentido que el resto de los tratamientos. En el Cuadro 26 se aprecia que la proporción de árboles que se encontraban en el Nivel 1 al final del experimento alcanzó el máximo en los tratamientos mencionados.

CUADRO 26. Efecto de la fuente de fierro y de la dosis sobre la proporción observada de árboles de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, con síntomas iniciales de deficiencia férrica severa (Nivel 4) que se mantienen en el estado sano (Nivel 1) luego, de 17 meses de la aplicación.

Fuente de fierro	dosis (g/l)			
	0	15	30	60
Sulfato ferroso	0%	33,3%	0%	66,7%
Sequestrene 138 Fe	0%	0%	66,7%	0%

Al comparar los tratamientos Sulfato ferroso, dosis 60 g/l y Sequestrene 138 Fe, dosis 30 g/l, respecto al tiempo que demora el árbol en alcanzar el estado sano por primera vez (Cuadro 27), se observó que Sulfato ferroso demora un mayor tiempo en recuperar el árbol, que Sequestrene 138 Fe.

CUADRO 27. Efecto de 2 tratamientos de fierro (Sequestrene 138 Fe, dosis 30 g/l y Sulfato ferroso, dosis 60 g/l) sobre el tiempo medio que demora un árbol de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass con síntomas de deficiencia férrica severa (Nivel 4) en alcanzar el estado sano (Nivel 1) por primera vez luego de la aplicación.

Tratamiento (prod./dosis (g/l))	Tiempo medio (meses) (1)
Sul.iso / 60	3,5* (3,7**) a
Seq.138 / 30	1 b

(1) Los promedios con igual letra dentro de la columna no difieren estadísticamente según el test de Tuckey ($P = 0,05$).

(*) Considera sólo los árboles que alcanzaron el Nivel 1.

(**) Considera todos los árboles tratados con el tratamiento.

La mayor parte de los árboles tratados se mantuvo, durante todo el periodo de ensayo, entre los grados 1 y 2 de clorosis, ocurriendo algo similar a los ensayos anteriores, en que la diferencia en grado de clorosis entre las dosis no se manifestó en una diferencia en largo y diámetro de ramillas entre las dosis 15, 30 y 60 g/l, sino sólo entre estas y los testigos. Esto podría deberse al bajo porcentaje de hojas cloróticas de los árboles que alcanzan el Nivel 2, permaneciendo no cloróticas una mucho mayor proporción, capaz de sostener el crecimiento vigoroso de las ramillas.

Se aprecia, asimismo, un ligero aumento del

nivel de clorosis, como un comportamiento general de los tratamientos, en la primavera de 1987. Esto estaría explicado por el comienzo de la actividad del árbol y brotación, la cual demanda el fierro disponible (KADMAN y COHEN, 1982).

No debiera esperarse una influencia de la fruta sobre el grado de clorosis, en cuanto a su función como sink para el fierro ya que ésta no presenta un contenido alto de este elemento, como se indicó en los ensayos anteriores (GARDIAZABAL y ROSENBERG, 1989). Sin embargo, y como se mencionó anteriormente, una temporada de gran producción de fruta en un árbol de palto (tomando en cuenta el aherismo de esta especie), detrimenta la condición general del árbol*, condicionando su respuesta a heladas, la susceptibilidad a enfermedades y también la absorción normal de nutrientes desde el suelo.

Lo anterior explica el comportamiento medianamente deficiente de los tratamientos Sequestrene 138 Fe, dosis 60g/l y Sulfato ferroso, dosis 30 g/l, de acuerdo a la tendencia de respuesta a las otras dosis de los respectivos productos. Es probable que en ambos casos se

(*) GARDIAZABAL, F. 1990. Ing. Agr. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Comunicación personal.

naya tratado de arboles que se encontraban en una temporada de gran producción de fruta, lo que afectó su condición general, y su absorción normal de fierro desde el suelo. Es importante destacar que la absorción natural no se detiene por el hecho de que se entregue fierro por una vía distinta a la absorción normal por las raíces.

Del análisis de las variables de crecimiento se desprende que, en general, no existiría una respuesta a la cantidad de fierro aplicado como tampoco a la forma en que este se entrega, con excepción de la longitud media de ramillas en Noviembre de 1987. Es importante hacer notar que la dosis más baja (15g/l) de Sequestrene 138 Fe (6% de Fe; 0,9 g/l de Fe) es más de 13 veces más baja que la dosis más alta (60 g/l) de Sulfato ferroso (20% de fierro; 12 g de Fe/l). Sin embargo, y como ya se dijo, no existió en la mayoría de los casos, una diferencia clara entre ambos tratamientos. Es probable que el efecto diferenciando de ellos no sea medible en el rango de tiempo empleado (17 meses para el caso del grado de clorosis; 12 meses para las variables de crecimiento), siendo probable la observación de una posible diferencia en un rango de tiempo mayor. No debe olvidarse que el fierro está siendo entregado en una forma en que el 100% del producto aplicado entra al interior de la planta sin pérdidas de ningún tipo. De esta manera, aún la

cantidad menor de hierro aplicado estaría constituyéndose en un stock de hierro suficiente para abastecer al árbol y satisfacer sus necesidades de Fe, para efectos de crecimiento, por un periodo de tiempo igual o superior a 17 meses. Lo anterior, sin tomar en cuenta que la planta no interrumpe sus mecanismos de absorción habitual de Fe por las raíces, cuando se le aporta hierro exógenamente, ya sea aspersiones foliares o inyecciones al tronco.

Las observaciones anteriores concuerdan con los resultados obtenidos por KADMAN y COHEN (1974), quienes lograron corregir deficiencia férrica en paltos durante una temporada, con la inyección al tronco de una solución al 1% de Sequestrene 138 Fe (frente a la mayor concentración utilizada en nuestra experiencia, 15 g/l ó 1,5%). HURLEY, WALSER y DAVIS (1986), obtuvieron una corrección de la deficiencia de hierro en Arce plateado (Acer saccharinum L.) por más de 100 días, con la inyección al tronco de una solución al 1% de Sulfato ferroso. BAR (1981), citado por KADMAN y LAHAV (1982), también logró corregir la clorosis férrica en el mediano plazo en paltos, con la aplicación de una solución al 2% de Sulfato ferroso inyectado al tronco, y de 1% de Sequestrene 138 Fe, también inyectado.

Se observa que los árboles tratados, con el

producto Sulfato ferroso logran llegar, en una mayor proporción, en el nivel 1 al final del experimento, en contraste con el producto Sequestrene 138, en que los árboles tratados con él presentan, en general, un mayor grado de clorosis. Nuevamente, es de suponer que la mayor proporción de Fe del Sulfato ferroso es la responsable de tal efecto.

Por otra parte, las diferencias en el grado de clorosis de los distintos tratamientos, no quedan de manifiesto en la concentración de clorofila total (Cuadro 24), siendo similar a lo ocurrido en el ensayo 3. Esto tendría su explicación en el distinto número de observaciones por tratamiento (3 para el caso del grado de clorosis y 1 para el caso de la concentración de clorofila) y, por lo tanto, en la mayor fidelidad de la información del grado de clorosis.

En el Cuadro 25 se observa, además, que el tratamiento Sulfato ferroso, dosis 30 g/l tiene un comportamiento relativamente deficiente en cuanto a corregir el grado de clorosis del árbol. Esto concuerda con la longitud media de ramillas (Cuadro 21) de este tratamiento, en noviembre de 1987, la cual, aún cuando no difiere significativamente del tratamiento Sulfato ferroso, dosis 60 g/l, tampoco lo hace del tratamiento Sequestrene 138, dosis

15 g/l. Es probable que exista el efecto de un factor no medido, como es el caso de (Phytophthora cinnamomi), atacando uno de los árboles tratados con dicho tratamiento.

Se observa finalmente, que los árboles tratados del ensayo 4 alcanzan en general una longitud final de ramillas (Cuadro 21) que no difiere de la longitud final de las ramillas de los árboles del ensayo 1 (Cuadro 1). Se puede pensar, entonces, en que, bajo las condiciones del ensayo, un árbol severamente deficiente en fierro, al corregirsele rápidamente la deficiencia, el vigor del crecimiento que ocurra como consecuencia de dicha corrección logra equiparar el crecimiento de un árbol sano. Lo anterior tiene su explicación, precisamente, en la muy rápida corrección de la deficiencia que presentan los árboles tratados, alcanzando un nivel de hojas no cloróticas muy superior al de hojas cloróticas, en un periodo de tiempo muy breve (1 mes, en la mayoría de los casos).

5. CONCLUSIONES

1. En árboles sanos (0%-10% de hojas cloróticas), la aplicación de fuentes de fierro no afecta el comportamiento futuro de los árboles, ni en cuanto al grado de clorosis, ni en cuanto al crecimiento de los árboles, dentro de un periodo de tiempo de 12 y 17 meses luego de la aplicación, respectivamente.
2. En árboles con deficiencia férrica leve (11%-40% de hojas cloróticas) la aplicación de fuentes de fierro no afecta, en general, el crecimiento de los árboles, durante un periodo de 12 meses luego de la aplicación. Si afecta, al cabo de 17 meses al contenido de clorofila total foliar, obteniéndose mejores resultados con la aplicación de Sulfato ferroso.

En cuanto al grado de clorosis, se logra una respuesta positiva al aumento de la dosis de aplicación, obteniéndose además un mejor resultado con el producto Sulfato ferroso que con el producto Sequestrene 138 Fe, luego de 17 meses de la aplicación.
3. En árboles con deficiencia férrica moderada (41%-70% de hojas cloróticas) la aplicación de fuentes de fierro

afecta significativamente el crecimiento de los árboles, sin existir una diferencia en cuanto al nivel de fierro aportado, como tampoco al producto en que se entrega.

En cuanto al contenido de clorofila total (a+b) foliar, existen diferencias significativas sólo entre aplicar o no aplicar fierro al árbol, pero no entre los niveles de aplicación, como tampoco del producto en que se entrega, durante un periodo de 17 meses posterior a la aplicación.

En cuanto al grado de clorosis, existe una mejor respuesta general al producto Sulfato ferrroso, como también a la dosis más alta de este producto durante un periodo de 17 meses luego de la aplicación.

4. En árboles con deficiencia férrica severa (71%-100% de hojas cloróticas), la aplicación de fierro afecta significativamente el crecimiento de los árboles tratados con respecto al testigo, no existiendo una diferencia clara en cuanto al nivel de fierro como tampoco al producto, durante un periodo de 12 meses luego de la aplicación.

El contenido de clorofila total (a+b) foliar

también se ve afectado positivamente por la aplicación de fierro, pero no por el nivel en que este elemento es entregado, durante un período de 17 meses luego de la aplicación.

En cuanto al grado de clorosis, existe un mejor efecto general, durante un período de 17 meses posterior a la aplicación del producto Sulfato ferroso que del producto Sequestrene 138 Fe, como también de la dosis en que se aplica el Sulfato ferroso.

6. RESUMEN

Se realizó una experiencia destinada a corregir clorosis férrica en árboles de plato (Persea americana Mill.) cv. Hass, provocada por condiciones de suelo alcalino. Se trabajó con dos productos, Sulfato ferroso y Sequestrene 138 Fe (i.a. EDDHA-Fe), diluidos en agua, cada uno en cuatro dosis: 0,15, 30, 60 gr/l, inyectados a presión al tronco del árbol. Se trabajó en base a cuatro ensayos, cada uno correspondiente a un nivel inicial de clorosis, a saber: árbol sano, árbol levemente clorótico, árbol moderadamente clorótico, árbol severamente clorótico. Se midió el contenido de clorofila foliar al inicio de la experiencia, luego de 5 meses, y luego de 17 meses de la aplicación. Se midió también el crecimiento del árbol a través del crecimiento de las ramillas y del incremento del perímetro del tronco, en forma periódica. Finalmente, se hizo un seguimiento a la evaluación del grado de clorosis de los árboles, mediante apreciación visual, durante 17 meses luego de la aplicación de los tratamientos. No se observó un efecto de los tratamientos sobre los árboles del ensayo 1 (árboles sanos) y leve sobre los árboles del ensayo 2 (moderadamente cloróticos). Asimismo, en los ensayos 3 y 4 se observó una rápida respuesta a la dosis de aplicación (0,15, 30 y 60 gr/l), en ambos productos. Al mismo tiempo,

las dosis altas lograron mantener árboles inicialmente severamente cloróticos, en estado verde durante 17 meses luego de la aplicación. Por otra parte, se observó un efecto general ligeramente superior del Sulfato ferroso.

7. LITERATURA CITADA

- BLOOM, P.; INSKEEP, W. 1986. Factors affecting bicarbonate chemistry and iron chlorosis in soils. *Journal of Plant Nutrition* 9 (3-7): 215-228.
- BROWN, J.; JOLLEY, V. 1986. An evaluation of concepts related to iron-deficiency chlorosis. *Journal of Plant Nutrition* 9 (3-7): 175-186.
- CLARK, R.; GROSS, R. 1986. Plant genotype differences to iron. *Journal of Plant Nutrition* 9 (3-7): 471-491.
- CHANEY, R.; BROWN, J.; TIFFIN, L. 1972. Obligatory reduction of ferric chelates in iron uptake by soybeans. *Plant Physiology* 50: 208-213.
- FASSBENDER, H. 1980. Química de suelos. San José, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 398 p.
- GARDIAZABAL, F.; ROSENBERG, G. 1989. El cultivo del palto. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 166 p.
- GREGORIOU, C.; PAPADEMETRIOU, M.; CHRISTOFIDES, L. 1983. Use of Chelates for correcting iron chlorosis in Avocado growing calcareous soils in Cyprus. *California Avocado Yearbook*. pp. 116-122.
- HECHT-BUCHHOLZ, CH.; ORTMANN, U. Effect of foliar iron application on regreening and chloroplast development in iron-chlorotic soybean. *Journal of Plant Nutrition* 9 (3-7): 647-659.
- HESS, D. 1980. Fisiología vegetal. Barcelona, Omega. 388 p.

- HURLEY, A.; WALSER, R.; DAVIS, T. 1986. Net photosynthesis and chlorophyll content in silver maple after trunk injection of ferrous sulphate. *Journal of Plant Nutrition* 9 (3-7): 683-693.
- KADMAN, A. 1963. Soil treatments with iron chelates to cure chlorotic avocado trees in Israel. *California Avocado Society Yearbook* 46:73-75.
- _____.; LAHAV, E. 1972. Experiment with various treatment to cure chlorotic avocado trees. *California Avocado Yearbook* 55: 176-178.
- _____.; COHEN, A. 1974. A rapid method for curing chlorotic avocado trees. *California Avocado Yearbook* 57: 156-165.
- _____.; BEN-YA'ACOV, A. 1982. Selection of avocado rootstocks for calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition* 5 (4-7): 639-643.
- _____. y LAHAV, E. 1982. Experiments to correct iron deficiency in avocado trees. *Journal of Plant Nutrition* 5 (4-7): 961-966.
- _____.; GAZIT, S. 1984. The problem of iron deficiency in mango trees and experiments to cure it in Israel. *Journal of Plant Nutrition* 7 (1-5): 283-290.
- KALBASI, M; MANUCEHRI, N.; FILSOOF, F. 1986. Local acidification of soil as a mean to alternative iron chlorosis in quince orchards. *Journal of Plant Nutrition* 9 (3-7): 1001-1007.
- KANNAN, S. 1985. Fe-deficiency tolerance in Papaya (*Carica papaya* L.): pH reduction and chlorosis recovery in response to stresses. *Journal of Plant Nutrition* 8 (12): 1191-1197.

- LANDSBERG, E. 1981. Organic acid synthesis and release of hydrogen ions in response to Fe deficiency stresses of mono and dicotyledonous plant species. *J. of Plant Nutrition* 7: 279-281.
- LOEPPERT, R. 1986. Reactions of iron and carbonates in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition* 9 (3-7): 195-214.
- LOPEZ, A.; ALCADE, A.; BORYS, M.; BARRERA, J. 1985. Respuesta del aguacate mexicano, antillano y guatemalteco en suelos con diferente contenido de carbonato de calcio. *Horticultura mexicana* 1 (1): 51-62.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral Nutrition of higher plants. San Diego, Academic Press. 674 p.
- _____; RÖMHELD, V.; KISSEL, M. 1986. Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *Journal of Plant Nutrition* 9 (3-7): 695-713.
- MENGEL, K.; GEURTZEN, G. 1986. Iron chlorosis on calcareous soils. Alkaline nutritional condition as the cause for the chlorosis. *Journal of Plant Nutrition* 9(3-7):161-173.
- MORTVEDT, J. 1986. Iron sources and management practices for correcting iron chlorosis problems. *Journal of Plant Nutrition* 9 (3-7): 961-974.
- NORTH, C. 1962. Technique to injecting substances into woody plants. In: Wallace, A., ed. a decade of synthetic chelating agents in Inorganic Plant Nutrition. California. pp. 138 - 142.
- OLSEN, R.; MILLER, R. 1986. Absorption of ferric iron by plants. *Journal of Plant Nutrition* 9(3-7): 751-757.

RAZETO, B. 1982. Treatments for iron chlorosis in peach trees. *Journal of Plant Nutrition* 5(4-7): 917-922.

_____. 1984. Deficiencia de hierro en frutales. *ACONEX* 8: 36-39.

ROMHELD, V.; MARSCHNER, M. 1981. Effect of Fe stresses on utilization of Fe chelates by efficient and in efficient plant species. *Journal of Plant Nutrition* 3(1-4): 551-560.

RUIZ, R.; HELLE, M.; ESPINOZA, R. 1980. Análisis de clorofila como índice indirecto de clorosis férrica en nectarinos. *Agricultura Técnica (Chile)* 40 (4): 161-163.

_____. ; NAVIA, T. 1982. Fijación de fierro en suelos de la zona central de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 42 (3): 217-221.

SESTAK, Z. 1971. Determination of chlorophylls a and b. In: Z. Sestak, J. Catak, and P.G. Jarvis, eds. *Plant Photosintetic Production. Manual of Methods*, The Hague, Dr. W. Junk, N.V. pp. 672-701.

TERRY, N; ABADIA, J. 1986. Function of iron in chloroplast. *Journal of Plant Nutrition* 9 (3-7): 609-646.