



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
INIA

InnovaChile
CORFO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

MANEJO DE LA CLOROSIS FÉRRICA EN PALTO



Autores:

R. Ferreyra E.,
G. Selles V.,
R. Ruiz S.,
P. Gil M.,
C. Barrera M.

MANEJO DE LA CLOROSIS FÉRRICA EN PALTO

Autores:
R. Ferreyra E.,
G. Selles V.,
R. Ruiz S.,
P. Gil M.,
C. Barrera M.

INIA-V Región
La Cruz, Chile, 2008

MANEJO DE LA CLOROSIS FÉRRICA EN PALTO

La presente publicación, entrega información referente al diagnóstico y corrección de deficiencias de hierro en palto en suelo calcáreos.

Autores:

R. Ferreyra E., (Ing. Agrónomo M.Sc.)
G. Selles V., (Ing. Agrónomo Dr.)
R. Ruiz S., (Ing. Agrónomo Dr.)
P. Gil M., (Ing. Agrónomo Dr.)
C. Barrera M. (Ing. Agrónomo).

Director responsable:

Robinson Vargas M.,
Director Regional INIA - V Región.

Correctores Técnicos:

F. Rodríguez.,
G. Selles V.,
R. Ruiz S.,
P. Gil M.,
C. Barrera M.

Boletín INIA N° 181

Cita bibliográfica correcta:

Raúl Ferreyra, E. G. Selles V., R. Ruiz S., P. Gil M., y C. Barrera M., 2008.
Manejo de la clorosis férrica en palto. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 181. 60 pp.

© 2008, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA,
Centro Regional de Investigación V Región, Chorrillos 86,
La Cruz, Telefonofax (56-33) 312366, Casilla 3,
Correo La Cruz, Chile.

ISSN 0717 – 4829

Todos los derechos reservados. Este boletín no podrá ser reproducido parcial o totalmente, para cualquier uso, sin permiso expreso por escrito del autor.

Diseño y Diagramación : Jorge Berríos Villablanca
Impresión : Salesianos Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 500

La Cruz, Chile, 2008.

ÍNDICE

1. Introducción _____	5
2. Características químicas de los suelos cultivados con paltos en la Región de Valparaíso _____	7
3. Relación entre las propiedades químicas del suelo y la clorosis férrica _____	11
4. Clorosis férrica: manifestación y efectos sobre el rendimiento _____	15
4.1 Sintomatología _____	15
4.2 Indicadores foliares _____	17
4.3 Efecto de la clorosis férrica en el rendimiento _____	18
5. El exceso de humedad en el suelo y la clorosis férrica _____	20

6. Corrección de la clorosis férrica	23
6.1 Aplicación de ácido a través del equipo de riego	24
6.1.1 Cambio de pH del suelo a través de la aplicación de ácido	25
6.1.2 Modificación del pH del agua de riego	30
6.1.2.1 Modificación del pH del agua en un huerto con 3% de carbonato de calcio equivalente en el suelo	31
6.1.2.1.1 Efecto de la aplicación de ácido en el contenido de nutrientes foliares	35
6.1.2.2. Modificación del pH del agua de riego en un huerto con 1% de carbonato de calcio	39
6.2 Aplicación de fosfato hidratado de hierro	41
6.3 Aplicaciones sulfato de hierro y ácido al follaje	43
7. Bibliografía	51

1. INTRODUCCIÓN

En Chile, la variedad de palto Hass es la más plantada, su pera las 35.000 ha y tiene un potencial productivo de 25 ton/ha. Sin embargo, los rendimientos promedio son menores, alcanzando solo las 9,2 ton/ha en huertos adultos (ODEPA-CIREN Catastro frutícola V Región). Esto se debe a que las plantaciones están ubicadas mayoritariamente en suelos inadecuados para su desarrollo, tanto desde el punto de vista físico como químico pues el palto proviene de zonas subtropicales con suelos de altos contenidos en materia orgánica y pH ácido (Salazar-García, 2002).

En la zona central de Chile existe una gran cantidad de suelos calcáreos, ubicados en condiciones climáticas propicias para el desarrollo del palto, y que pueden llegar a ser potencialmente productivos si el suministro de agua y nutrientes es adecuado. En este tipo de suelos, el desarrollo de esta especie frutal, se ve restringido por el alto pH, que limita la

disponibilidad de micronutrientes, especialmente del hierro.

De acuerdo a los antecedentes reportados por CIREN (1997), un gran porcentaje de los suelos plantados con palto en la Región de Valparaíso, son de pH básicos (7,4 a 7,8), condición que afecta la disponibilidad de boro, zinc y hierro, entre otros elementos. La inadecuada disponibilidad de boro y zinc afectan la cuaja y el tamaño de la fruta (Whiley 2001); la de hierro afecta la fotosíntesis y por consiguiente la producción. Si la deficiencia es severa se afectan las reservas de carbohidratos (Ruiz *et al* 2007).

El déficit de hierro es uno de los problemas más frecuentes en los huertos de paltos establecidos en suelos de pH alcalino. Sin embargo, también se produce un déficit de este elemento en zonas de suelo de pH menor a 5, debido a que la absorción de hierro compite con la de manganeso, elemento cuya solubilidad es fuertemente incrementada en pH ácido.

Sin embargo, en el caso del hierro, la condición calcárea del suelo parece ser más gravitante que el pH en la generación de problemas de deficiencia en la planta. Las formas de hierro presentes en los suelos de pH alcalino (Fe^{+3}) no son aprovechables por la planta. Un complejo mecanismo que implica la formación de un quelato orgánico natural (citrato de Fe) es lo que posibilita la absorción y metabolización del Fe (Marschner, 1995).

El hierro tiene una relación directa con la síntesis de la molécula de clorofila, al ser cofactor de varias enzimas que catalizan la formación de dicha molécula. (Mengel y Kirkby, 1987). Con un déficit de hierro, las hojas quedan con niveles bajos de clorofila afectándose el aparato productor de carbohidratos lo que repercute fuertemente en los rendimientos. Algunas experiencias en el extranjero en suelos de pH alcalino y calcáreos, indican que incluso en la condición de árboles levemente afectados se producen impactos negativos del orden del 24% en la producción (Gregoriu, *et al*, 1983).

Si sumamos a lo expuesto el hecho que una gran extensión de los suelos con este cultivo presenta baja macroporosidad (aireación), situación que favorece la asfixia radicular y la presencia de *phytophthora* (ver boletín INIA N° 160) es posible entender que el rendimiento medio de los paltos en plena producción sea de aproximadamente 9 ton/ha, mientras que el potencial productivo de esta especie, por las condiciones climáticas, permitiría alcanzar rendimientos cercanos a las 25 ton /ha, si se optimizara las características físico - química de los suelos cultivados con esta especie.

En este boletín se presentan los principales resultados del proyecto INNOVA "Aumento de la calidad comercial de las paltas en la V región, a través del manejo químico de la rizosfera", cuyo desafío final es realizar un aporte al aumento de la competitividad del cultivo de palto, al disminuir la brecha entre la producción actual y potencial de esta especie, mediante el mejoramiento de los rendimientos en paltos plantados en suelos de pH alcalino, a través de la optimización de la fertirrigación y otras prácticas de corrección de deficiencias de micronutrientes.

2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS CULTIVADOS CON PALTOS EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO

El área cultivada con paltos corresponde a dos grupos de suelo. El primero a suelos aluviales planos, de textura media, de tipo mollisol. Químicamente son de pH moderadamente alcalinos con el complejo de cambio dominado por calcio. Un segundo grupo se encuentra en áreas de lomajes y cerros donde predominan los suelos de tipo alfisol de pH neutro a ligeramente ácido, con baja materia orgánica y con intercalaciones ocasionales de formaciones calcáreas provenientes de evaporizas continentales. Ambos tipos de suelos presentan características físicas y químicas diferentes a los suelos de donde es ori-

nario el palto, que corresponden a suelos andisoles, de reacción ácida, altos niveles de materia orgánica y texturas gruesas (Anguiano-Contreras, 2003).

En la Región de Valparaíso en el 2003, existían 2.176 huertos cultivados con palto, abarcando una superficie de 11.422 ha. (Ferreyra y Selles 2007).

De acuerdo a la **figura 1**, en la V región el 33,5 % de los suelos plantados con paltos tiene pH inferior a 7,0. El 66,5% restante presenta un pH superior a 7,0. Sin embargo un 48,2% presenta un pH sobre 7,5 (Figura 1).

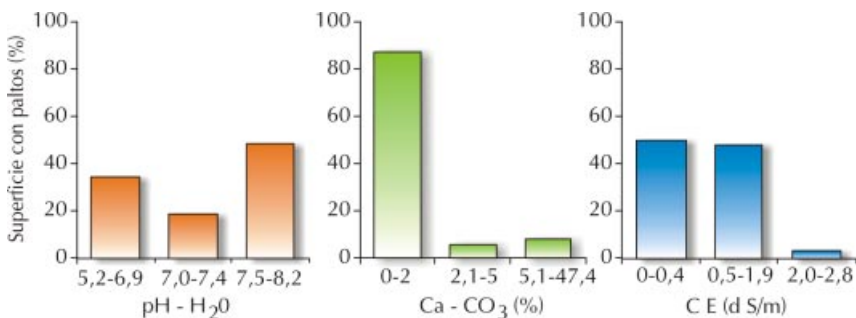


Figura 1. Distribución porcentual por rango de las principales propiedades químicas de los suelos plantados con paltos en la Región de Valparaíso.

Según Razeto (1993), el palto limita su crecimiento en suelos con pH superior a 7,0, en consecuencia, la mayor parte de las plantaciones de paltos de la V región se ubican en suelos con pH inadecuados para su óptimo desarrollo. En cuanto a la distribución geográfica de estos suelos, los de bajo pH están asociados a cerros y plantaciones más recientes; y los suelos alcalinos, con problemas de pH, están asociados a los suelos bajos de los valles y huertos más antiguos.

Se ha determinado que un 10% de la superficie plantada con paltos se encuentra en suelos con altos contenidos de CaCO_3 totales (superiores a 5%) y un 6% en el rango medio (2 a 5%), plantaciones que, según Gardiazábal (2004)

presentan síntomas visibles de deficiencias de micronutrientes.

La salinidad del suelo, representada por la conductividad eléctrica (CE) es otra propiedad química que afecta el manejo de los nutrientes y el rendimiento de los huertos. En la Región de Valparaíso existen aproximadamente un 5% de los huertos con valores superiores a 2 dS m^{-1} (Figura 1), lo que según Ayers & Westcot (1985), produce un 10% de pérdidas de rendimiento.

En la **Figura 2**, se observa que del área plantada con paltos, un 5% de los suelos presenta un contenido de arcilla igual o superior al 40% y sólo un 4% de la superficie presenta una densidad aparente (Da) menor a 1 g cm^{-3} .

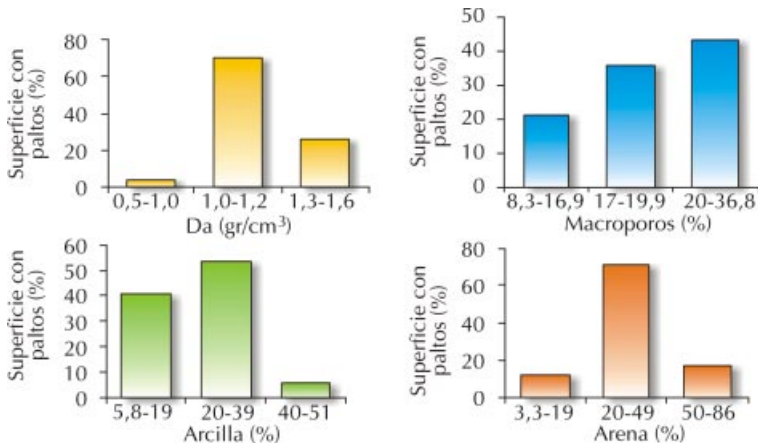


Figura 2. Distribución porcentual según rangos de las principales propiedades físicas de los suelos plantados con palto en la Región de Valparaíso.

El 81% de la superficie plantada con palto presenta clase textural con un contenido de arena menor al 50% y ninguno de los suelos supera el 40% de macroporosidad. Más de la mitad se encuentra en el rango entre 8,3 a 20%. Ferreyra *et al*, (2005), indica que el palto requiere de un porcentaje de aire en

el suelo (contenido volumétrico) del orden del 27% para desarrollarse en forma adecuada.

El **Cuadro 1**, muestra las características físicas y químicas de las series de suelo con plantaciones de palto mayores a 100 hectáreas en la Región de Valparaíso, las

Cuadro 1. Características físicas y químicas de las principales series de suelos donde se cultiva el palto en la V Región.

Nombre	Superficie ha	pH H ₂ O	CaCO ₃ %	Da g cm ⁻³	Macro-poros %	C E dS m ⁻¹	Arcilla %	Arena %
As Challay	2.122	5,8	0,0	1,15	22,3	0,1	18,1	43,7
Ocoa	1.423	7,5	0,0	1,16	18,9	1,4	21,6	35,6
Chagres	728	7,2	0,0	1,10	20,2	0,1	30,7	25,2
Hijuelas	647	7,5	0,0	1,13	18,7	1,5	20,8	29,4
Lo Vázquez	610	6,7	0,0	1,40	16,2	0,3	14,8	55,8
Calera	431	8,2	2,8	1,21	17,8	0,7	20,4	31,3
Pullalli	407	7,2	0,0	1,00	23,4	0,5	30,8	13,6
Encón	385	7,6	0,0	1,60	13,5	0,3	5,8	74,8
Calle Larga	351	6,6	0,0	1,16	18,3	0,1	23,3	28,6
San Isidro	320	7,8	6,0	0,96	24,8	1,0	35,0	20,5
La Ligua	311	7,6	0,0	1,17	17,5	0,6	30,4	24,3
As La Parva	300	7,5	0,0	1,02	16,6	0,2	50,5	16,8
Hualcapo	285	7,6	0,0	1,45	15,0	1,6	8,4	67,3
Milagro	269	7,8	0,0	1,45	15,5	0,8	9,2	69,3
Putando	250	7,2	0,0	1,06	22,9	0,9	23,9	25,6
Catemu	241	7,3	0,0	1,30	16,6	2,0	17,1	43,1
Pataguas	199	8,0	3,5	1,10	21,4	1,4	22,0	20,4
Cristo Redentor	195	6,4	0,0	1,16	17,8	0,1	30,2	25,1
Pocuro	189	6,7	0,0	1,19	21,3	0,1	18,0	40,8
Lo Campo	168	8,0	47,4	1,07	18,8	1,3	33,8	19,5
Sta. Rosa de Casablanca	156	5,6	0,0	1,35	20,1	0,2	7,5	76,3
Colunquén	139	8,2	44,7	1,05	19,2	0,5	37,0	11,9
San Lorenzo	124	7,8	0,0	1,07	24,3	1,0	22,3	44,0
As la Manga	101	7,4	0,0	1,17	21,1	0,2	32,1	46,9

Adaptado de CNR (1979), SAG (2002).

que representan el 70% de la superficie total del cultivo (CONAMA 2002, CNR 1979, CIREN 1997).

Del análisis de este cuadro se desprende que sólo el 30% de los suelos no presentan limitantes de pH, para el desarrollo del palto, correspondiendo a asociaciones de suelos y cultivos de cerro.

La información obtenida de los estudios de suelos, si bien no representan todas las variaciones que pueden existir dentro de las series, en especial en áreas de cerro, muestran un valor referencial de las características físicas y químicas presentes en los huertos de paltos.

3. RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO Y LA CLOROSIS FÉRRICA

La principal causa de la clorosis férrica en los paltos es la alcalinidad de los suelos (Razeto, 1993), pues existe un antagonismo entre los carbonatos y el Fe en los suelos. El pH de los suelos determina la disponibilidad del Fe y de otros microelementos afectando su solubilidad. La solubilidad del hierro decrece mil veces por cada unidad que aumenta el pH en el rango entre 4 y 9, mientras que la de Mn, Zn y Cu decrece cien veces por cada punto de aumento de pH (Mortvedt, 2000).

En la **Figura 3**, se observa que los síntomas de clorosis férrica se comienzan a manifestar a partir de niveles de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ superiores a 7,5. Sin embargo, la intensidad del mismo aumenta con incrementos de pH por sobre este valor, probablemente por efectos adicionales del CaCO_3 . Esto concuerda con lo datos reportados por Razeto (1993) y Salazar-García (1999), quienes indican que el palto presenta clorosis en las hojas en suelos con pH 7,0 y presencia de carbonatos. Por otra parte, North y Wallace (1952) ob-

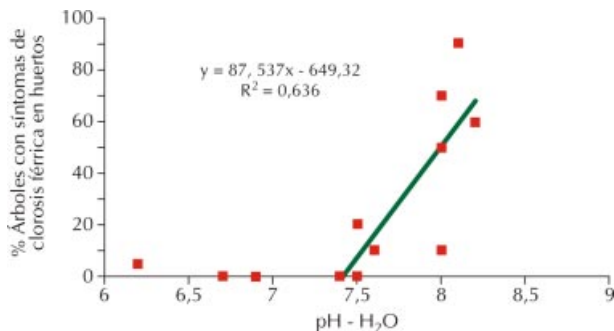


Figura 3. Comportamiento de la sintomatología visual por clorosis férrica (%) en relación a $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ en los suelos cultivados con paltos.

servaron daños por clorosis férrica en paltos plantados en suelos con pH 7,1 a 7,6 y porcentajes de carbonatos de 1 a 2,5

La **Figura 4** muestra la relación entre el valor de Fe-DTPA en el suelo y el daño visual encontrado en los huertos evaluados en la Región de Valparaíso, donde se aprecia que bajo 15 ppm de Fe-DTPA, las plantas presentan un daño visual importante. Este dato llama la atención ya que el valor crítico es bastante mayor al reportado por Brown (1978) 5 ppm para sorgo y otros cultivos.

El aumento del valor crítico de Fe-DTPA en el suelo, a partir del cual se manifiesta el daño visual (15 ppm), se podría explicar porque el árbol de palto es originario de suelos ácidos, donde el hierro está disponible en mayores cantidades

que en suelos alcalinos. También por la inmovilización y competencia que sufre este elemento en los suelos de pH 7 y superiores (Opazo, 1994).

El control metabólico de la planta por la absorción de Fe desde el suelo sigue los siguientes pasos: (1) se libera H⁺ por las raíces bajando el pH de la zona de la rizósfera facilitando la solubilización del Fe⁺³, quelación y reducción a Fe⁺²; (2) el hierro ferroso entra a las raíces probablemente por un mecanismo de transportadores específicos o "carriers" (Menguel, 1995).

En análisis realizados a huertos de palto, se observa que los contenidos de nutrientes en los suelos y el estado visual de la clorosis férrica son dependientes del hierro libre (Fe⁺²) en los suelos. Esto podría

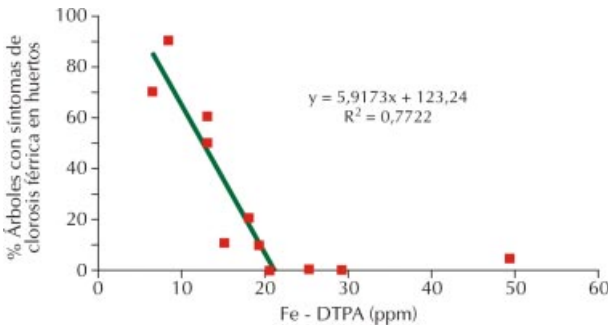


Figura 4. Sintomatología visual por clorosis férrica (%) de los árboles respecto al contenido de Fe-DTPA (ppm).

explicarse por la naturaleza de este elemento, cuya disponibilidad es dependiente del pH y los carbonatos de los suelos (Opazo, 1994).

Otro indicador importante para determinar la posible aparición de sintomatología visual de deficiencia de hierro en los árboles es la presencia de carbonatos en los suelos, al tener éstos un rol antagonístico con el Fe, Mn, Cu y Zn (Opazo, 1994; Mortvedt, 2000).

La **Figura 5**, muestra que los carbonatos del suelo están menos relacionados que el Fe-DTPA (Figura 4), con los síntomas de clorosis férrica que presenta el palto. De los carbonatos en el suelo, la cal activa (fracción del carbonato inferior a 20 micras) es la fracción que presenta una mayor relación con los síntomas de clorosis férrica presente en los árboles. La Figura 5 también muestra la presencia de clorosis férrica con contenidos bajos de cal acti-

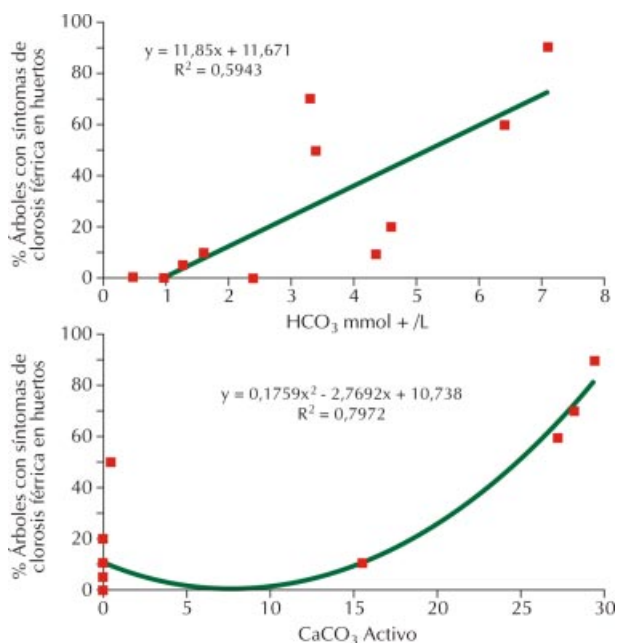


Figura 5a. Variación del Daño Visual (%) producido por clorosis férrica presente en los árboles en relación a los contenidos de HCO₃ (mmol+ l⁻¹), y CaCO₃ activo (%) en los suelos cultivados con palto.

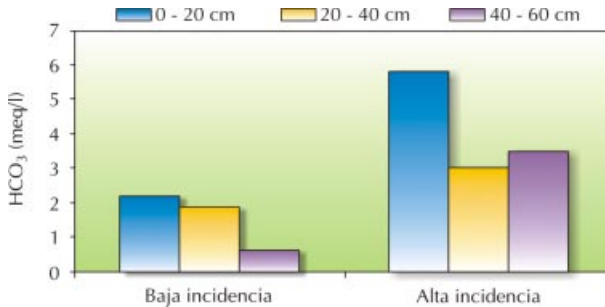


Figura 5b. Contenidos de HCO_3 (meq l^{-1}) en el suelo y en árboles con alta y baja incidencia de clorosis férrica (Cabildo, Región de Valparaíso).

va. Otro factor que se relaciona con la sintomatología de deficiencia de hierro es el HCO_3 en el suelo (Figura 5), pues a partir de 2 mmol L^{-1} comienzan a aparecer síntomas en los árboles. Este valor, puede ser importante también para la identificación de los suelos en que el palto presenta dificultad para obtener hierro, ya que el ión bicarbonato es el causante directo de la clorosis férrica en suelos calcáreos, sin embargo su presencia es muy variable en el suelo.

El daño visual caracterizado como "clorosis férrica" en estas evalua-

ciones, no presenta relación con el contenido de hierro total en las hojas. Es necesario indicar que no se midió Fe^{+2} y que la época de extracción de muestras corresponde a la recomendada por Whiley *et al*, (2002).

En resumen, los antecedentes obtenidos en la Región de Valparaíso, indican que los huertos de paltos presentan síntomas de clorosis férrica en suelos con niveles inferiores a 15 ppm de Fe-DTPA , que tienen algún nivel de cal activa o presentan más de 2 mmol L^{-1} de HCO_3 .

4. CLOROSIS FÉRRICA: SU MANIFESTACIÓN Y EFECTOS SOBRE EL RENDIMIENTO

4.1 SINTOMATOLOGÍA

Los síntomas del déficit de Fe, son fáciles de reconocer en las hojas. Al inicio, se observa clorosis (coloración amarillenta) intervenal (**Foto 1**) y luego clorosis pareja laminar, con la nervadura verde. Esta clorosis se debe a que el hierro es necesario para la producción de clorofila responsable del color verde de las hojas. Esta deficiencia no afecta el tamaño de las hojas y es más intenso en crecimientos nuevos, debido a que una vez que se deposita en las hojas adultas vía corriente transpiratoria, su movilidad es muy baja.



Foto 1. Síntomas de clorosis férrica.

Si el déficit es severo, además de la clorosis aparece necrosis marginal, que compromete tanto a las hojas nuevas como a las más desarrolladas o viejas (**Foto 2**). Debido a este problema, se produce caída de hojas en noviembre y, si la deficiencia es severa, puede conducir a la muerte de la planta (**Foto 3**).



Foto 2. Síntomas de clorosis férrica.



Foto 3. Muerte de plantas debido a clorosis férrica.

El nivel de clorofila puede ser estimado en terreno a través de un medidor portátil de clorofila SPAD, cuya escala varía entre 0 y 100. Utilizando este instrumento, las plantas sin síntomas de clorosis

férrica presentaron valores sobre 45 Unidades SPAD, mientras que aquellas con deficiencia de hierro, los valores SPAD variaron de 10 a 40 (**Fotos 4, 5 y 6**).



Foto 4. Grado de clorosis férrica y valores SPAD.



Foto 5. Árbol con clorosis férrica. Valores entre SPAD 15 y 35 y contenido de valor Fe^{+2} entre 10 y 12 ppm).



Foto 6. Árbol sin clorosis férrica, con valor SPAD sobre 45 y contenido de Fe^{+2} entre 16 y 20 ppm.

Es necesario señalar que valores bajos de SPAD, también pueden ser ocasionados por otras deficiencias nutricionales como nitrógeno y zinc, entre otras. La deficiencia de hierro puede ser determinada con medición de Fe^{+2} en laboratorio, para lo cual se requiere muestras frescas de hojas, recolectadas en el mes de febrero donde se observan las mayores diferencias. En las plantas normales, el Fe^{+2} de hojas recolectadas en febrero, presenta valores cercanos a 20 ppm.

4.2. INDICADORES FOLIARES

La medición de hierro total a nivel foliar no es un buen indicador para conocer si este elemento está

deficiente en la planta, ya que gran parte del Fe total está en su forma no soluble. El hierro soluble al interior de la planta está como Fe^{+3} y Fe^{+2} . De estas dos fracciones, sólo la Fe^{+2} es metabólicamente activa. El Fe^{+2} tiene el rol clave y específico de activar la enzima ferroquelatasa que inserta Fe^{+2} en la protoporfirina IX que es precursora de la síntesis de clorofila (Katyal and Sharma, 1980). El Fe^{+2} se puede medir por el método de la orto fenantrolina desarrollado por Katyal and Sharma (1980 y 1984).

En la zona de Cabildo (Región de Valparaíso), en un suelo perteneciente a la serie San Lorenzo, de textura franco arenosa, alcalino, de pH 8,2 y CE de $1,52 \text{ dS m}^{-1}$, no salino, no sódico y un contenido

total de CaCO_3 equivalente del 5%, se analizó el estado nutricional de plantas con tres grados de clorosis pudiéndose observar que en las plantas más amarillas (mayor clorosis) sólo el Zinc y Fe^{+2} presentaron contenido deficiente. Plantas con niveles severos de clorosis presentaron 7,9 ppm de Fe^{+2} en comparación a hojas de plantas normales que mostraron valores cercanos a 20 ppm de Fe^{+2} (Cuadro 2). Es necesario indicar que desde enero a febrero se presentan las mayores diferencias en el contenido de Fe^{+2} y zinc. En abril, estos contrastes disminuyen y por lo tanto es recomendable realizar los análisis foliares de Fe^{+2} y zinc desde enero a principios de marzo.

4.3. EFECTO DE LA CLOROSIS FÉRRICA EN EL RENDIMIENTO

En un suelo de pH 8,2 y con un contenido total de CaCO_3 equivalente al 3%, se midió el rendimiento de 94 árboles con diferentes niveles de clorosis férrica. Se encontró una relación entre el rendimiento de los árboles y el grado de clorosis férrica. Las plantas con síntomas severos (SPAD 15) en promedio producen 3 kg árbol⁻¹ y las plantas con síntomas leves (SPAD 40) presentan un rendimiento promedio de aproximadamente 23 kg árbol⁻¹ (Figura 6). Una planta normal, sin deficiencia de hierro, presenta rendimientos para esta distancia de plantación (6 x 4 m) entre 35 a 50 kg árbol⁻¹.

Cuadro 2. Niveles Nutricionales de plantas con clorosis férrica. Cabildo, febrero 2006.

Elementos	Severo	Moderado	Leve	Sin síntoma*
N%	1,84	1,83	1,89	
P%	0,12	0,13	0,13	
K%	1,2	1,5	1,41	
Ca%	2,61	1,72	1,73	
Mg%	0,74	0,45	0,43	
Zn ppm	10	15	16	26*
Mn ppm	155	156,7	133,7	
Cu ppm	12	16	15	
Fe^{+2} ppm	7,9	15,3	14,7	21*
Fe total ppm	60,3	55,2	63,7	

* Plantas sin síntomas

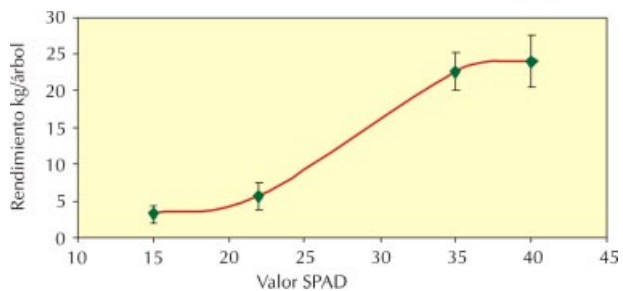
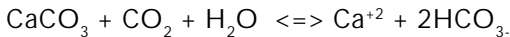


Figura 6. Relación entre el rendimiento y el grado de clorosis férrica. (Barras corresponden al error estándar).

5. EL EXCESO DE HUMEDAD EN EL SUELO Y LA CLOROSIS FÉRRICA

El ión bicarbonato es el causante directo de la clorosis férrica en suelos calcáreos. La presencia de abundante HCO_3^- en el medio radicular produce al parecer inmovilización del Fe dentro de la planta al pasar al estado de Fe^{+3} .

En el suelo existe un complejo equilibrio, en el que intervienen la respiración radicular, el drenaje y la macroporosidad que definen la cantidad de HCO_3^- en la solución del suelo (**Figura 7**) de acuerdo a:



Además, las aguas de riego pueden traer excesos del ión HCO_3^- y si el nivel es mayor a 5 meq l^{-1} , puede haber problemas. La "cal activa" se refiere a la fracción fina del CaCO_3 (más activa) y también tendría relación directa en la deficiencia de Fe.

Las raíces absorben el hierro como ion Fe^{+2} u otras formas quelatadas naturales o artificiales. No se sabe si se absorbe en forma pasiva o activa, pero las plantas difieren en cuanto a habilidad para tomar el Fe, existiendo plantas eficientes e



Figura 7. Influencia del exceso de humedad en el suelo en la clorosis férrica.

ineficientes para absorber este elemento. Las plantas eficientes son capaces de bajar el pH del medio rizosférico, con lo cual se produce más $[\text{Fe}^{+2}]$, que es el que absorbe y metaboliza la planta. Las plantas eficientes muestran incluso cambios anatómicos en las raíces y además excretan al medio ácidos orgánicos como ácido cítrico, caféico, avénico, muginéico, etc., los cuales logran complejar al Fe, para de esta manera ser absorbido. Al interior de la planta, el Fe metabólicamente activo es el Fe^{+2} .

La deficiencia de hierro en paltos se presenta en los crecimientos nuevos, cuando la absorción de hierro es restringida a nivel radicular. La absorción de hierro se ha demostrado que sólo ocurre por el ápice de crecimiento de las raíces. La falta de oxígeno por exceso de humedad en el suelo, afecta el crecimiento radical y por consiguiente la absorción de hierro. También se ha demostrado que los carbonatos (HCO_3) en el suelo afectan la absorción de hierro. Los altos niveles de dióxido de carbono (CO_2), que aumentan bajo condiciones de mala aireación, conducen a la formación de HCO_3 . En los terrenos con alta humedad, el CO_2 se acumula y se

disminuye el O_2 , esto se traduce en aumentos del HCO_3 , que produce una inmovilización de Fe y por lo tanto en una restricción en la absorción de hierro y clorosis férrica (Zude-Sasse y Schaffer, 2000).

Por lo indicado anteriormente, abundantes precipitaciones en invierno, responsables de altos contenidos de humedad en el suelo al inicio de la temporada de crecimiento del palto, son en muchos casos responsables de la presencia de síntomas de deficiencia de hierro a principios del verano.

Por otra parte, la falta de aireación en el suelo puede estimular la formación de formas férricas solubles en el suelo, las cuales son más disponible para la planta. Esta situación se presenta principalmente en suelos anegados (Kozłowski, 1997).

En suelos con mala aireación (baja macroporosidad), a menudo los problemas de clorosis férrica se pueden solucionar al distanciar la frecuencia entre riegos lo cual permite aumentar el aire en el suelo. Esto no significa disminuir la cantidad de agua a reponer en el palto, solamente cambiar los momentos de aplicación. Según

Witney (2006), riegos excesivos en primavera, son responsables de deficiencias crónicas de hierro que afectan la producción del palto. Sin embargo, en suelos alcalinos o alcalinos - calcáreos

es necesario aplicar Fe en forma de quelatos o intentar disminuir el pH del suelo a través de la acidulación del agua de riego para superar la clorosis férrica.

6. CORRECCIÓN DE LA CLOROSIS FÉRRICA

El pH de los suelos determina la disponibilidad del Fe, entre otros elementos, pues la solubilidad del elemento decrece mil veces por cada unidad que aumenta el pH en el rango entre 4 y 9, mientras que la de Mn, Zn y Cu decrece cien veces por cada punto de aumento de pH (Mortvedt, 2000).

Respecto de la corrección de clorosis férrica en paltos, se ha llegado a la conclusión que la única alternativa eficiente en el ámbito de suelos alcalinos y calcáreos es la aplicación del quelatos de Fe-EDDHA al suelo, siendo las aspersiones foliares de baja eficiencia debido a la baja movilidad del elemento (Lahav & Whiley, 2002). Los quelatos de Fe no son utilizados en forma generalizada por el alto costo que implica (dependiendo de la dosis, el valor de la aplicación varía entre \$ 600.000 a \$ 1.200.000 pesos chilenos por año y por ha), y solamente se utiliza a nivel de árboles individuales con daños severos.

También para corregir la clorosis férrica se aplica ácido a través del agua de riego para disminuir el pH del suelo.

Al tratar de corregir los problemas de clorosis férrica es necesario tener presente los siguientes antecedentes:

- El efecto de las aplicaciones de acidificantes como el azufre varía de regular a bajo.
- Las aplicaciones foliares de hierro rara vez reducen la gravedad de los síntomas y se consideran sólo medidas temporales.
- Las aplicaciones de sulfato de hierro (FeSO_4) al suelo son ineficaces, porque el hierro se oxida rápidamente y se convierte a su forma insoluble.
- La aplicación de quelatos de Fe-EDDHA (ácido etilendiamino dihidroxyfenil acético) es estable entre pH 4 a 10 y funciona bien en todos los suelos, pero es de alto costo.

- La aplicación de quelatos de Fe-EDTA no es eficaz, debido a que este producto es estable sólo hasta pH 7,5.
- Las aplicaciones de ácido sulfúrico al agua de riego pueden ayudar a disminuir la deficiencia de hierro, pero se requiere tener presente que con ello se aumenta la salinidad del suelo (conductividad eléctrica).

A continuación, se presenta información que puede ser de utilidad al momento de tratar de corregir deficiencia de hierro en paltos.

6.1 APLICAR ÁCIDO A TRAVÉS DE EQUIPO DE RIEGO

La aplicación de ácidos como corrector del pH de los suelos se propuso en la década del 50, pero no se generalizó principalmente por las dificultades de manejo. Posteriormente, con la aparición del riego presurizado, se ha sugerido usar el ácido sulfúrico agregándolo a las aguas de riego para disminuir las pérdidas de amoníaco con gran éxito (Miyamoto *et al*, 1975). Mendoza (2002) señala que, regando permanentemente con agua ácida un suelos calcáreos se reestablece el pH del flujo

xilemático, posibilitando la reducción del Fe^{+3} a Fe^{+2} activo metabólicamente.

La alternativa de acidificación ha sido poco ensayada en los paltos a nivel mundial. Whiley *et al*, (1984), estudiaron el efecto de la acidificación y los resultados mostraron un gran impacto del pH sobre los rendimientos. Con pH de 6,1 en el suelo, el rendimiento fue de 25,1 kg árbol⁻¹, mientras que con pH de 5,6 el rendimiento fue de 46,3 kg árbol⁻¹

Experiencias en aplicaciones de ácidos en pre-plantación en arándanos, a través de equipos de riego localizados, en suelos alcalinos de naturaleza calcárea (pH 8,2) de la zona central de Chile, indican que el hierro, boro y zinc aumentan su disponibilidad, con lo cual se mejoran en forma importante los rendimientos (Ferreyra *et al*, 2001). Sin embargo, también se indica que los ácidos aumentan la salinidad del suelo y no todos los ácidos producen los efectos esperados. Los ácidos fosfórico y sulfúrico son los más efectivos en la disminución del pH sin llevar la conductividad eléctrica (CE) a niveles extremadamente altos (Ferreyra *et al*, 2001). El ácido nítrico reacciona

en los suelos formando sales solubles bajando el pH pero incrementando la CE a niveles muy altos (**Cuadro 3**). Los ácidos acético y cítrico no lograron disminuir el pH en forma importante (Ferreyra *et al*, 1998).

6.1.1 Cambio del pH del suelo a través de la aplicación de ácido

El ácido sulfúrico es usado como enmienda en los suelos para au-

mentar la disponibilidad de micronutrientes, pero es imposible neutralizar la totalidad del CaCO_3 de la zona de raíces en los suelos calcáreos por la gran cantidad de ácido requerido y el probable daño a las plantas al aumentar las concentraciones de sales solubles (Ryan and Stroehlein, 1974).

El requerimiento de ácido para cambiar el pH del suelo se puede estimar a través de una curva de

Cuadro 3. Efecto de la aplicación de diferentes ácidos sobre las características químicas del suelo de la serie Santiago.

Características químicas	Unidad	Testigo Suelo Calcáreo	Tratamientos		
			Ácido sulfúrico	Ácido nítrico	Ácido fosfórico
PH	dS m ⁻¹	8,1	6,2	6,1	6,0
CE	%	2,4	8,5	43,3	5,0
M.O.	mmol+L ⁻¹	3,9	3,6	3,5	3,1
Ca soluble	mmol+L ⁻¹	7,8	16,5	21,0	12,5
Mg soluble	mmol+L ⁻¹	1,3	32,5	27,8	7,9
Na soluble	mmol+L ⁻¹	7,0	10,6	8,3	7,7
HCO ₃ soluble	mmol+L ⁻¹	1,5	1,3	1,0	1,0
Cl soluble	mmol+L ⁻¹	7,6	15,1	9,7	9,4
SO ₄ soluble	mmol+L ⁻¹	6,0	13,5	26,0	11,0
B soluble	mg L ⁻¹	1,6	1,7	5,8	1,4
N disponible	mg kg ⁻¹	41	180	2.951	141
P disponible	mg kg ⁻¹	104	122	143	352
K disponible	mg kg ⁻¹	288	500	470	470
Fe disponible	mg kg ⁻¹	32	194	99	46
Mn disponible	mg kg ⁻¹	32	240	126	96
Cu disponible	mg kg ⁻¹	6,8	8,6	8,0	10,0
Zn disponible	mg kg ⁻¹	3,1	6,1	4,6	4,1

Fuente: Ferreyra *et al*, 1998.

titulación. En los **Cuadro 4 y 5** se presentan los niveles de ácido necesario para eliminar los carbonatos de la zona de raíces, en cinco series de suelos cultivados con palto en la Región de Valparaíso (San Lorenzo; La Calera; Lo Campo; Asociación Challay y La Ligua)

En la serie Lo Campo, con un nivel de 30% de CaCO_3 , no se pudo determinar la cantidad de ácido

sulfúrico necesaria para disminuir el pH del suelo dada la alta cantidad de CaCO_3 .

En el **Cuadro 6**, se presentan los cambios en el pH, CE y disponibilidad de micronutrientes en cuatro series de suelo de la Región de Valparaíso después de aplicar ácido, de acuerdo a lo indicado en la curva de titulación para alcanzar pH 5,5.

Cuadro 4. Requerimientos de ácido sulfúrico de cinco series de suelos cultivadas con paltos en la Región de Valparaíso para bajar el pH según curva de titulación.

Series de Suelos	pH- H_2O 1:2,5 Original	CaCO_3 equivalente %	Requerimientos de ácido para bajar el pH- H_2O del suelo		
			H_2SO_4 96%, d= 1,84 Kg l ⁻¹		
			pH 6,0	pH 5,5	pH 5,0
(g ácido kg ⁻¹ suelo)					
San Lorenzo 30	8,2	5,0	15,6	22,7	43,5
San Lorenzo 60	8,2	4,4	17,2	25,5	33,9
La Calera 30	7,9	0,7	1,4	2,8	4,3
La Calera 60	7,9	0,2	1,2	1,9	2,6
Lo Campo 30	8,0	29,5	No se pudo realizar el análisis		
Lo Campo 60	8,0	34,4	No se pudo realizar el análisis		
As Challay 30	6,5	0	0,6	1,2	2,0
As Challay 60	6,4	0	0,4	1,0	1,6
La Ligua 30	7,6	0	2,2	3,1	4,1
La Ligua 60	7,5	0	2,2	3,1	4,2

Cuadro 5. Requerimientos de ácido Sulfúrico, Fosfórico y Nítrico para alcanzar pH 5; 5,5 y 6 en cinco series de suelo de la V Región, según curva de titulación.

Tipo de ácido pH objetivo	Requerimientos de ácido (g ácido kg ⁻¹ suelo) para bajar el pH-H ₂ O del suelo											
	H ₂ SO ₄ 96%, d=1,84 kg L ⁻¹		H ₃ PO ₄ 85%, d=1,71 kg L ⁻¹		HNO ₃ 65%, d=1,39 kg L ⁻¹							
	6,0	5,5	5,0	6,0	5,5	5,0	6,0	5,5	6,0	5,5	6,0	5,5
San Lorenzo (30cm)	15,6	22,7	43,5	11,8	17,1	32,8	29,7	43,1	82,6			
San Lorenzo (60cm)	17,2	25,5	33,9	12,9	19,2	25,5	32,6	48,3	64,4			
La Calera (30cm)	1,44	2,76	4,26	1,08	2,08	3,21	2,73	5,24	8,09			
La Calera (60cm)	1,24	1,90	2,58	0,93	1,43	1,94	2,36	3,61	4,90			
Lo Campo 30	No se pudo realizar el análisis											
Lo Campo 60	No se pudo realizar el análisis											
As Challay (30cm)	0,59	1,23	1,99	0,45	0,92	1,50	1,12	2,33	3,78			
As Challay (60cm)	0,39	0,95	1,60	0,29	0,71	1,20	0,74	1,80	3,03			
La Ligua (30cm)	2,21	3,08	4,08	1,66	2,32	3,07	4,20	5,84	7,75			
La Ligua (60cm)	2,23	3,12	4,15	1,68	2,35	3,12	4,23	5,93	7,87			

Cuadro 6. Variación del pH, CE y disponibilidad de micronutrientes en cuatro series de suelo de la Región de Valparaíso, después de aplicar ácido de acuerdo a lo indicado en la curva de titulación para alcanzar pH 5,5.

Identificación de la serie y tipo de ácido	pH	C. E. dSm ⁻¹	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	B Mgka ⁻¹	CaCO ₃ ⁽¹⁾	CaCO ₃ ⁽²⁾
							Equivalente (%)	
Challay								
Fosfórico	4.3	4.0	54.5	2.44	155.6	0.28	0	0
Nítrico	3.4	9.7	81.9	2.34	201.4	0.43	0	0
Sulfúrico	3.2	4.3	130.7	3.88	207.8	0.44	0	0
S/Ácido	5.0	0.1	40.7	2.46	153.0	0.47	0	-
La Calera								
Fosfórico	6.0	1.3	38.4	4.54	27.8	0.72	0,2	0
Nítrico	4.1	16.1	113.6	5.54	118.6	1.32	0	0
Sulfúrico	3.9	3.2	150.3	4.52	145.6	1.42	0	0
S/Ácido	7.8	1.0	15.6	2.42	4.6	0.42	0,2	-
La Ligua								
Fosfórico	6.1	1.5	29.9	4.34	72.0	1.38	0,6	0
Nítrico	4.3	16.5	115.0	5.42	182.8	1.70	0	0
Sulfúrico	4.4	3.1	161.1	5.38	117.0	2.36	0	0
S/Ácido	7.9	2.0	15.9	2.84	9.7	1.98	0,8	-
San Lorenzo								
Fosfórico	4.4	5.2	78.8	2.44	134.8	0.54	0	0
Nítrico	2.1	83.3	132.2	7.80	353.8	1.70	0	0
Sulfúrico	2.5	33.7	908.0	17.0	424.4	3.65	0	0
S/Ácido	8.5	0.6	4.4	0.24	2.7	0.56	1,1	-

⁽¹⁾ Análisis 24 horas después de aplicado el ácido.

⁽²⁾ Análisis 10 días después de aplicado el ácido.

En el cuadro 6 se aprecia que los ácidos nítrico, sulfúrico y fosfórico eliminaron los carbonatos del suelo, bajaron el pH del suelo y aumentaron la disponibilidad de Fe, Zn y B. Sin embargo, todos los ácidos aumentan la conductividad eléctrica (CE) del suelo, especialmente en aquellos con mayores

pH y carbonatos de calcio. El ácido nítrico es el que más aumenta la CE del suelo y el fosfórico el que menos la incrementa.

Debido a lo anterior, para disminuir posibles daños salinos a las plantas, en el suelo San Lorenzo se evaluó el efecto de aplicar el

ácido sulfúrico requerido para bajar el pH a 5,5 en forma parcializada. El ensayo se realizó en maceteros, con plantas de variedad Hass de un año de edad. En la figura 8 se observa el efecto en el suelo al aplicar el requerimiento de ácido en una oportunidad (T 32%) y en forma parcializado (T 1%), durante dos meses. La conductividad eléctrica (CE) llegó a valores cercanos a 30 dS m⁻¹ cuando el ácido se aplicó todo de una vez, mientras que cuando se aplicó de forma parcializada, la CE no sobrepasó los 10 dS m⁻¹ (Figura 8). En ambos casos se observó un cambio en las propiedades químicas del suelo, los cuales fueron similares en ambos tratamientos, hacia el final de la aplicación.

Esto muestra que, frente a una misma dosis, no importa el tiempo que demora la aplicación, ya que el resultado final será similar, respecto de la disminución de pH. Las aplicaciones parcializadas disminuyen los posibles efectos salinos. Estos resultados concuerdan con Ryan *et al* (1975), quien demostró que no hay diferencias entre distintos métodos de aplicación de ácidos en cantidades equivalentes. Las aplicaciones del ácido en forma escalonada producen un cambio gradual de las condiciones del suelo y supone un menor estrés en las plantas. Sin embargo, en esta experiencia las plantas se dañaron severamente en ambas formas de aplicación.

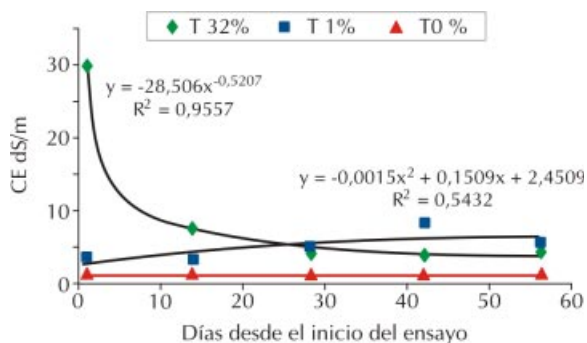


Figura 8a. Variación de la CE del suelo en la cual se aplicó AS en concentraciones de 1 y 32%, en 60 días de duración de los ensayos. La CE inicial del suelo era 1,2 dS m⁻¹ (T0% suelo sin aplicación de ácido).

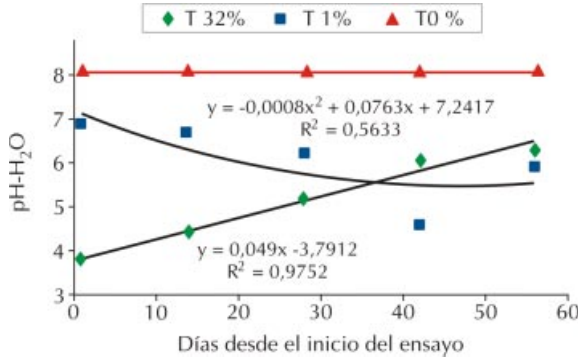


Figura 8b. Variación del pH del suelo en el cual se aplicó AS en concentraciones de 1 y 32%, en 60 días de duración de los ensayos. El pH inicial del suelo era 8,1.

En el **Cuadro 7**, se presentan los costos de bajar el pH de suelo a 6, en tres tipos de suelo de la Región de Valparaíso. Los costos varían de \$ 7.092.900 a \$ 558.000 por hectárea, dependiendo del pH y carbonatos del suelo.

En resumen, los ácidos sulfúrico y fosfórico son los más adecuados para corregir el pH del suelo. Sin embargo, en suelo con pH alto (sobre 8) y carbonato de calcio, con la aplicación de ácido, se aumenta la conductividad eléctrica del suelo a niveles restrictivo para las plantas.

Por lo indicado anteriormente, no es recomendable tratar de eliminar todos los carbonatos de calcio del suelo en un corto tiempo

en huertos ya establecidos, donde el aumento de la salinidad, producto de la acidificación, podría dañar el cultivo. Sin embargo, la aplicación de ácido en una dosis menor a la necesaria para eliminar todos los CaCO_3 ayudaría a acidificar la rizósfera durante el periodo de riego, con lo cual se liberaría una mayor cantidad de nutrientes en suelos alcalinos.

6.1.2 Modificación del pH del agua de riego

Para mejorar la disponibilidad de nutrientes, en especial del Fe, muchos agricultores acidulan el agua de riego a pH 5 con el objeto de liberar nutrientes en suelos alcalinos, sin aumentar demasiado la conductividad eléctrica de

Cuadro 7. Costo de la aplicación de ácido sulfúrico en tres series de suelo de la V Región para bajar el pH a 6, según curva de titulación.

Datos Base	Unidad	Series de suelo		
		San Lorenzo	La Ligua	La Calera
pH original del suelo		8,5	7,9	7,8
Densidad aparente del suelo	Kg l ⁻¹	1,3	1,3	1,3
Profundidad de suelo mojado	M	0,3	0,3	0,3
Área mojada por el microaspersor	m ²	1,8	1,8	1,8
Volumen de suelo mojado	m ³	0,5	0,5	0,5
Volumen de suelo mojado	Kg	702	702	702
Curva de titulación H ₂ SO ₄ para pH 6	g ácido Kg suelo ⁻¹	16,5	2,2	1,3
Cantidad de ácido H ₂ SO ₄ a aplicar	g/planta	11.583	1.544	913
Densidad ácido sulfúrico	Kg l ⁻¹	1,84	1,84	1,84
Cantidad de ácido H ₂ SO ₄ a aplicar	L planta ⁻¹	21,3	2,8	1,7
Cantidad de ácido H ₂ SO ₄ a aplicar	L hectárea ⁻¹	8.866	1.182	699
Costo ácido sulfúrico	\$ l ⁻¹	800	800	800
Costo aplicación	M\$ ha⁻¹	7.092,9	9.45,7	558,8

la solución suelo. De acuerdo a ello, se realizaron ensayos para determinar el efecto de la acidulación del agua de riego en la modificación de la absorción de Fe en palto.

6.1.2.1 Modificación del pH del agua en un huerto con 3% de carbonato de calcio equivalente en el suelo

Durante tres años (octubre 2005 - mayo 2008), un huerto de palto de la zona de Cabildo fue regado

con agua acidulada con ácido sulfúrico a pH 3 a 5. Este huerto var. Hass fue establecido el año 2002, en un marco de plantación de 6 x 4 m. El suelo del huerto pertenece a la Serie San Lorenzo con las siguientes características: textura franco arenosa, alcalino, de pH 8,2 y CE de 1,52 dS m⁻¹, no salino, no sódico y un contenido total de CaCO₃ equivalente del 3%.

En el **Cuadro 8**, se presentan las características químicas del suelo del huerto.

Este suelo tiene un contenido de Fe-DTPA de 8 a 9 ppm (Cuadro 8), valor inferior a 15 ppm donde las plantas comienzan a presentar daño visual (Figura 4, en página 12). Esto es concordante ya que un porcentaje importante de los

Cuadro 8. Características químicas del suelo del ensayo.

Elemento o característica	30 cm	60 cm
Salinidad, sodicidad ¹	No salino, no sódico	No salino, no sódico
pH CaCl ₂ mol l ⁻¹	7,77	7,69
pHKCl mol l ⁻¹	7,38	7,34
pH H ₂ O	8,25	8,18
C.E dS m ⁻¹	1,5	1,9
RAS	1,7	2,2
PSI %	1,19	1,876
Agua saturación 2 %	38,01	39,14
MO %	1,9	1,9
Ca ²⁺ mmol+ L ⁻¹	9,9	11,7
Mg ²⁺ mmol+ L ⁻¹	2,7	3,4
Na ⁺ mmol+ L ⁻¹	4,2	5,9
K ⁺ mmol+ L ⁻¹	0,2	0,2
SO ₄ ²⁻ mmol+ L ⁻¹	7,8	4,7
Cl ⁻ mmol+ L ⁻¹	0,5	0,6
HCO ₃ ⁻ mmol+ L ⁻¹	5,0	4,2
CO ₃ ²⁻	ND	ND
Fe ppm	8,3	9,0
Zn ppm	0,68	0,70
Mg ppm	7,10	7,80
Cu ppm	4,80	5,40
N disponible mg Kg ⁻¹	22,0	20,0
P disponible mg Kg ⁻¹	28,0	35,0
K disponible mg Kg ⁻¹	176,0	202,0

¹ Comisión Nacional de Riego (> 4dS/m: > 13 RAS)

² Expresado base materia seca a 105°C.

ND no detectado

árboles en el sitio del ensayo muestra clorosis férrica.

El agua de riego en condiciones naturales presenta una conductividad eléctrica (CE) de 0,68 dS m⁻¹ y un pH de 7,9.

Las plantas de este huerto se regaron con una frecuencia de aproximadamente tres a cuatro días en verano, cuando se acumulaban 20 mm de evapotranspiración real que fue estimada a partir de la evapotranspiración potencial y de un coeficiente de cultivo (Kc) de 0,7 para todo el año. Este criterio de riego implicó que el huerto recibiera alrededor de 10.000 m³ de agua de riego por hectárea en la temporada (**Cuadro 10**).

En el **Cuadro 9**, se presentan los tratamientos aplicados en esta experiencia y en la **Foto 7**, el inyector utilizado para la aplicación de ácido.

El pH promedio del agua de riego en la primera temporada fue de 7,6 (T0); 4,08 (T1); y 5,24 (T2) y en la segunda temporada fue de 7,88 (T0); 3,31 (T1); y 4,77 (T2). La conductividad eléctrica del agua (CE) promedio en la primera temporada fue de 0,59; 1,97; y 0,81 dS m⁻¹, respectivamente. En la segunda temporada fue un poco más alta: 0,68; 2,62 y 1,17 dS m⁻¹ para los tratamientos testigo, pH 3,5 y pH 5, respectivamente (**Cuadro 10**).

La **Figura 9**, muestra la evolución del pH y CE en esta experiencia. Las fluctuaciones del pH y CE en los tratamientos corresponden a riegos en que no se inyectó ácido con el objeto de lavar las sales debido al aumento de la CE, en especial en el tratamiento pH 3,5 en que se incorporó aproximadamente 23 l ha⁻¹ de ácido sulfúrico por riego.

Cuadro 9. Tratamientos de modificación del pH del agua en un huerto con síntomas severos de clorosis férrica.

Tratamiento	Descripción
T0	Testigo (manejo del predio).
T1	pH 3,5, Aplicación entre 16 a 22 l ha ⁻¹ de H ₂ SO ₄ como producto comercial, en cada riego.
T2	pH 5,0 Aplicación entre 10 a 13 l ha ⁻¹ de H ₂ SO ₄ como producto comercial, en cada riego.

Cuadro 10. Efecto de los tratamientos aplicado en la conductividad eléctrica (CE) y pH del agua de riego en dos temporadas.

Primera temporada (21 octubre 2005 a 1 junio 2006)

Tratamiento	Agua aplicada $m^3 ha^{-1}$	pH agua riego	CE agua de riego $dS m^{-1}$	Ácido sulfúrico aplicado	
				l/ha/año	l/cada 20 mm de riego
Testigo	10199,73	7,60	0,59		
pH 3,5	10221,36	4,08	1,97	1169,3	22,9
pH 5	9986,70	5,24	0,81	660,5	13,2

Segunda temporada (6 septiembre 2006 a 29 Abril 2007)

Tratamiento	Agua aplicada $m^3 ha^{-1}$	pH agua riego	CE agua de riego $dS m^{-1}$	Ácido sulfúrico aplicado	
				l/ha/año	l/cada 20 mm de riego
Testigo	9359,7	7,88	0,68		
pH 3,5	9400,6	3,31	2,62	1119,72	23,8
pH 5	9450,0	4,77	1,17	662,75	14,0



Foto 7. Equipo de monitoreo e inyección de ácido con control de pH y CE instalado en el experimento.

Como conclusión de esta experiencia, se puede indicar que la acidulación del agua de riego durante tres temporadas seguidas no

originó la aparición de cambios visuales en los síntomas de clorosis férrica, ni tampoco en un aumento de la producción. Sin em-

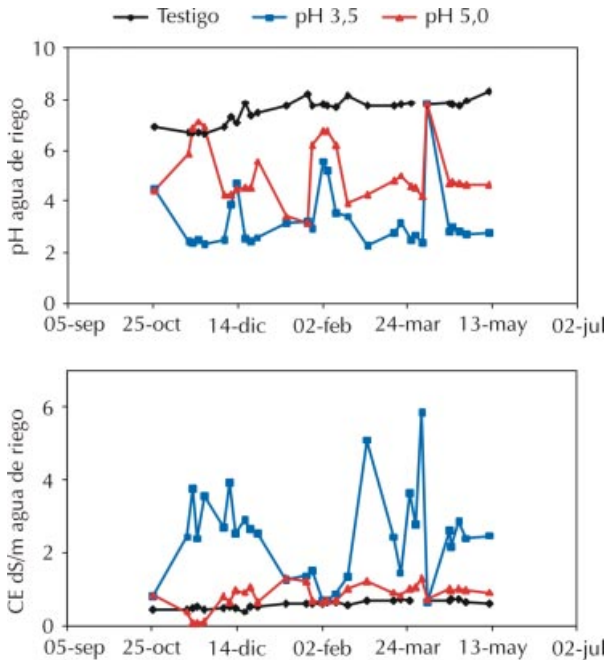


Figura 9. Evolución del pH y la CE del agua de riego entre octubre del 2005 y mayo del 2006.

bargo, se pudo constatar que las aplicaciones de ácido sulfúrico en algunas temporadas mejoraron el contenido de Fe^{2+} , Zn y boro a nivel foliar. Se estima que esta técnica puede tener efecto en el largo plazo en suelo de pH alto (sobre 8) y con presencia de carbonatos. A continuación, se presentan algunos de los resultados de esta experiencia.

6.1.2.1.1 Efecto de la aplicación de ácido en el contenido de nutrientes foliares

En el **Cuadro 11**, se presenta el efecto de la acidulación del agua

de riego en el nivel foliar de los nutrientes.

El nivel de nutrientes (en base a peso seco) fue medido en hojas maduras expandidas de brotes no terminales no fructificados del crecimiento primaveral. Hojas de 5 a 7 meses de edad. Basado en Embleton and Jones (1964), Lahav and Kadman (1980) and Whiley *et al*, (1996).

En el cuadro 11 se aprecia el efecto de los tratamientos (aplicación de ácido) sobre el nivel de nitrógeno foliar. La mayor concentración de nitrógeno foliar se presen-

Cuadro 11. Efecto de tratamientos de acidulación del agua de riego en los niveles foliares de palto.

Febrero 2006

Tratam.	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
Testigo	1,83	0,13	1,50	1,72	0,45 b	15,0 a	156,7	16,0
Ac. pH 5,0	2,00	0,14	1,47	2,24	0,56 b	15,3 a	152,7	15,3
Ac. pH 3,5	1,77	0,13	1,39	2,45	0,69 a	11,0 b	167,7	14,7
Significac.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	0,05	0,01	N.S.	N.S.

Marzo 2007

Tratam.	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
Testigo	1,75 b	0,09 b	0,94 b	2,64 ab	0,60 b	12,8 ab	165	13,0 b
Ac. pH 5,0	1,92 a	0,10 a	1,29 a	2,34 bc	0,58 b	11,7 bc	113,3	15,8 a
Ac. pH 3,5	2,02 a	0,11a	1,22 ab	2,07 c	0,53 c	15,0 a	107,8	14,7 ab
Significac.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	N.S.	0,05

Nota: Hojas de 5-7 meses de edad, del ciclo de primavera, sin fruta ni crecimiento de verano. Las plantas al inicio del ensayo tenían síntomas moderados.

ta en los tratamientos de acidificación. El fósforo también se incrementa en los tratamientos con aplicación de ácido, respecto del testigo. El potasio se encuentra a nivel adecuado en todos los tratamientos, con mayores niveles en los tratamientos de acidificación, especialmente en la segunda temporada. En cuanto al calcio, los niveles son adecuados, pero con menores niveles en los tratamientos de acidificación. El magnesio está adecuado en todos los casos y al igual que el calcio, se observan menores niveles en

los tratamientos de acidificación, especialmente en la acidificación a pH 3,5. Ambos fenómenos se podrían atribuir a un desplazamiento del Ca por H⁺ en el complejo de intercambio.

El zinc se presenta en niveles bajos en todos los casos. El tratamiento de mayor acidificación estaría produciendo un cierto incremento en los niveles del mismo, pero sin alcanzar la suficiencia que se estima sobre 30 ppm (Cuadro 11 y Cuadro 12).

Cuadro 12. Estándares de análisis foliar para el diagnóstico del nivel de nutrientes en árboles maduros.

Nutriente	Nivel				
	Deficiente	Normal	Exceso		
N (%)	1,6	1,6 - 2,8	3		
P (%)	0,14	0,14 - 0,25	0,3		
K (%)	0,9	0,9 - 2	3		
Ca (%)	0,5	1 - 3	4		
Mg (%)	0,15	0,25 - 0,8	1		
S (%)	0,05	0,2 - 0,6	1		
Mn (mg kg ⁻¹)	10_15	30 - 500	1000		
Fe total (mg kg ⁻¹)	20_40	50 - 200	?		
Zn (mg kg ⁻¹)	10_20	40 - 80	100		
B (mg kg ⁻¹)	10_20	40 - 60	100		
Cu (mg kg ⁻¹)	2_3	5 - 15	25		
Cl (%)	?	0,25 - 0,5	0,5		
Na (%)	?	0,25 - 0,5	0,5		

En cuanto al manganeso, los niveles están muy sobre el nivel crítico y lejos de la toxicidad. En relación al cobre, éste se encontraba en niveles adecuados en todos los casos, con una tendencia a mayores niveles en los tratamientos de acidificación (Cuadro 11).

En resumen, durante la primera temporada, los niveles foliares de los macroelementos fueron afectados muy poco por los tratamientos. Sin embargo, en la segunda temporada se apreció un mejoramiento general de los niveles nutricionales en las plantas que recibieron ácido a través del agua de riego.

Por otra parte, en el Cuadro 11 y en la **Figura 10**, también se observa que existe un efecto incremental en el nivel de los microelementos en los tratamientos donde se aciduló el agua de riego. Sin embargo, después de tres temporadas de aplicación de ácido, las plantas tratadas continuaron presentando niveles inferiores de Fe⁺² y Zn que las plantas normales, donde el Fe⁺² está sobre 20 ppm y el Zn sobre 30 ppm. Los síntomas de la deficiencia de hierro y zinc se mantuvieron en las plantas tratadas.

El costo la aplicación de ácido sulfúrico en esta condición alcanzó

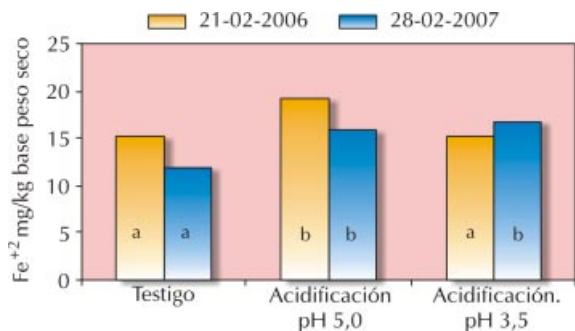


Figura 10. Efecto de tratamientos en los niveles de Fe^{+2} ($mg\ kg^{-1}$ base peso seco) en hojas de árboles con síntomas leves de clorosis férrica $P < 0,1$.

un valor de \$ 1.169.000 por hectárea al año para el tratamiento donde se aciduló a pH 3,5 y \$ 660.000 cuando el agua de riego se aciduló a pH 5.

En la **Fotos 8, 9 y 10** se presentan los síntomas de la deficiencia de zinc y en las fotos 1 y 2 la de hierro.



Foto 8. Efecto del déficit de zinc en la fruta de palto (Fruta pequeña y redondeada).



Foto 9. Deficiencia de zinc en palto (fruto pequeño y redondo, follaje con internudos cortos, hojas pequeñas y hojas nuevas muy rojas).

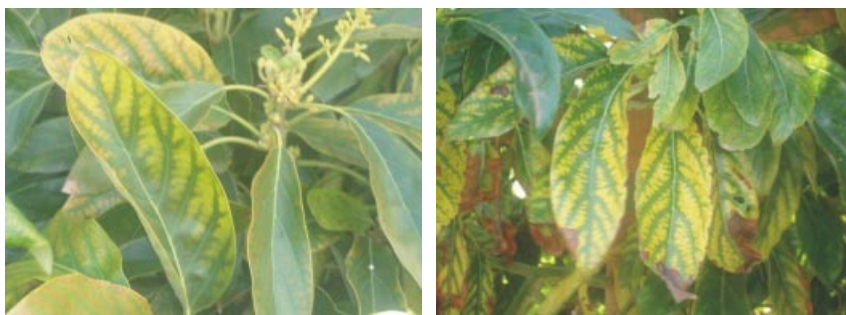


Foto 10. Deficiencia de zinc en palto en hojas adultas.

6.1.2.2. Modificación del pH del agua de riego en un huerto con 1% de carbonato de calcio

Durante tres años (octubre 2005 - mayo 2008) en un huerto de palto, en la comuna de La Cruz, las plantas se regaron con agua aciduladas a pH 5. El suelo del huerto pertenece a la Serie La Calera, de pH 7,8 y 1% de CaCO_3 . El agua en condiciones naturales tiene un pH cercano a 8 (**Cuadro 13**). Este huerto presentaba síntomas leves de clorosis férrica al inicio de los ensayos.

Las plantas de este huerto se regaron con una frecuencia diaria en verano, cuando se acumulaban aproximadamente 5 mm de evapotranspiración real, con una tasa anual del orden de 13.600 m³ de agua de riego por hectárea en (**Cuadro 13**).

En el cuadro 13, se presentan los tratamientos contrastado en esta experiencia.

El pH promedio del agua de riego fue de 8,0 (T0); y en el tratamiento con aplicación de ácido sulfúrico fue de 6,2.

Cuadro 13. Tratamientos modificación del pH del agua en un huerto con síntomas leves de clorosis férrica.

Tratamiento	m ³ h ⁻¹	pH agua riego	Agua aplicada	
			l/ha/año	l cada 5 mm de riego
T0 (Testigo)	14035,4	8,0	0	0
T1 (pH 6,2)	13642,8	6,2	122,78	0,45

Como resultado de esta experiencia se puede indicar que la aplicación de ácido al agua de riego no se manifestó en un aumento de la producción, al cabo de tres temporadas de aplicación. Sin embargo, se pudo constatar que las aplicaciones de ácido sulfúrico mejoraron el contenido de Fe^{+2} y Zn a nivel foliar (**Cuadro 14**). Se estima que esta técnica podría tener efecto en el mediano plazo, sobre todo en un suelo de pH con valores de 7,5 a 7,8 y con bajos niveles de carbonato de calcio (inferiores a 1).

A continuación, se presentan los resultados más relevantes de esta experiencia.

En la primera temporada por efecto de la acidificación, los árboles absorbieron más calcio y magnesio, al igual que la tendencia observada en la experiencia del huerto de Cabildo. Esta situación cambió en la segunda temporada, manteniéndose los niveles calcio en el rango de adecuados en todos los tratamientos. En la segunda temporada mejoran los niveles de Zn (Cuadro 14) y en la tercera temporada los niveles de Fe^{+2} (**Figura 11**).

El costo la aplicación de ácido sulfúrico en esta condición fue de \$ 98.224 hectárea año⁻¹.

Cuadro 14. Efecto de tratamientos en niveles foliares de nutrientes.

La Cruz, Abril 2006

Tratam.	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
Testigo pH 8,0	2,29	0,16	1,22	1,72b	0,31 a	25,8	81,7	15,0
Acidif. pH 6,2	2,33	0,16	1,22	2,07a	0,36 b	26,8	84,8	14,3
Significac.	N.S.	N.S.	N.S.	5%	5%	N.S.	N.S.	N.S.

La Cruz, Abril 2007

Tratam.	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
Testigo pH 8,0	2,2	0,1	1,4	1,8	0,3	25,0a	89,7	9,0
Ac. pH 6,2	2,1	0,1	1,5	1,9	0,3	33,0b	89,0	10,8
Significac.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	5%	N.S.	N.S.

Nota: Hojas de 5-7 meses de edad, del ciclo de primavera, sin fruta ni crecimiento de verano.

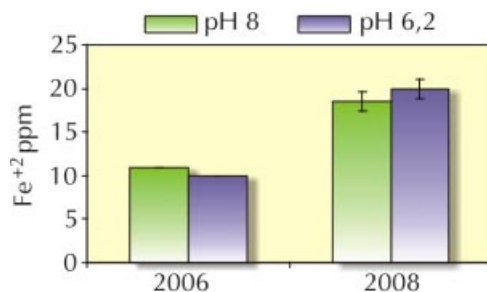


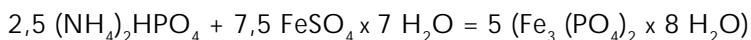
Figura 11. Efecto de la aplicación de ácido en el agua de riego en el Fe^{+2} . 25/04/06.

Las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

En resumen, de ambas experiencias (Cabildo y La Cruz) se desprende que la aplicación de ácido no soluciona el problema de clorosis férrica, a lo menos en el corto plazo, sobre todo en suelos con alto contenido de carbonato de calcio. Por otra parte, si bien estas aplicaciones pudieran reflejarse en mayores productividades, si el agua de riego tiene niveles altos de bicarbonatos ($1,64 \text{ mmol L}^{-1}$), como es el caso de Cabildo, el costo de la aplicación de ácido sulfúrico es muy alta.

6.2 APLICACIÓN DE FOSFATO HIDRATADO DE HIERRO

La aplicación de fosfato hidratado de hierro al suelo, conocido normalmente como vivianita, se ha usado para corregir clorosis férrica en olivos en suelos calcáreos de España con buenos resultados. Una aplicación puede conservar su efecto hasta en dos temporadas (Rosado, R. *et al*, 2002). La vivianita es un fosfato de hierro preparado a partir de la mezcla de 2,5 kg de fosfato diamónico y 7,5 Kg de sulfato de hierro en 100 litros de agua, lo que genera 5 Kg de fosfato hidratado de hierro.



Se ha observado que la vivianita ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), aplicada a suelos calcáreos a la dosis de 1 g kg^{-1} de suelo, es capaz de prevenir la clorosis férrica en lupino blanco y en garbanzo, cultivado en macetas bajo condiciones controladas (Eynard *et al*, 1992) y en perales cultivados en el campo haciendo uso de las prácticas agrícolas tradicionales (Iglesias *et al*, 1998). En los experimentos realizados en maceta, la vivianita en polvo se mezcló con el suelo antes de realizar la siembra. En el experimento de campo, la vivianita en forma de suspensión se inyectó en el suelo en varios puntos alrededor del tronco. En estas condiciones se ha observado que la inyección de vivianita al suelo (1 kg árbol^{-1}) ha sido eficaz para corregir la clorosis férrica en peral, al menos, durante cinco años. En condiciones de invernadero se ha mostrado que dosis de vivianita entre 0.6 y 1 g kg^{-1} eran eficaces para prevenir la

clorosis férrica en olivos cv. Picual (Marta, 1999). La vivianita, aunque es poco soluble al pH que tienen los suelos calcáreos, parece liberar Fe que evoluciona a compuestos amorfos (ferrihidrita o lepidocrocita poco cristalina), soluble en medio alcalino y que constituyen la fuente principal de Fe para las plantas cultivadas en suelos calcáreos (Loeppert y Hallmark, 1985; Del Campillo y Torrent, 1992).

Para probar el efecto de este producto en la corrección de la clorosis férrica en palto, se seleccionaron tres huertos con diferentes pH en el suelo y se realizaron aplicaciones de 2 kg de vivianita por planta, es decir 40 litros de solución por árbol. Cada tratamiento tenía 6 repeticiones.

Los resultados obtenidos se indican en la **figura 12 y 13**, para la segunda y tercera temporada respectivamente.

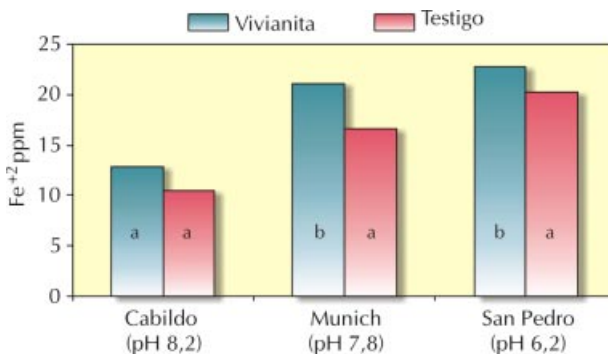


Figura 12. Efecto del fosfato hidratado de hierro (vivianita) en niveles de Fe^{+2} en hojas en la segunda temporada.

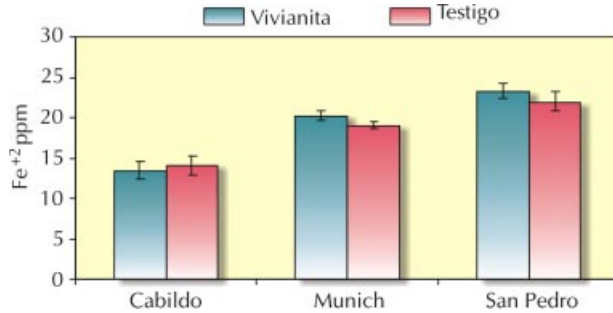


Figura 13. Efecto de vivianita en niveles de Fe²⁺ en hojas en la tercera temporada.

De las figuras 12 y 13 se desprende que las diferencias entre testigo y aplicación de vivianita, respecto a Fe²⁺, son mayores cuando el suelo presenta un menor contenido de carbonato de calcio y pH. Cabildo presenta un pH de 8.2 en cambio, Munich tiene un suelo con pH 7,8 y San Pedro 6,2. Sin embargo, su efecto fue más claro en la segunda que en la tercera temporada.

De este experimento se concluye que la aplicación de fosfato hidratado de hierro (vivianita) al suelo aumenta el contenido de Fe²⁺ de las hojas en suelos con niveles de carbonato de calcio inferiores a 1%. Por otra parte, los tratamientos con vivianita tienen un menor efecto que las aplicaciones de ácidos en suelos con alto contenido de carbonatos de calcio (superiores al 3%).

6.3. APLICACIONES SULFATO DE HIERRO Y ÁCIDO AL FOLLAJE

En Florida, trabajos del Dr. Bruce Schaffer y colaboradores, muestran que aplicaciones al follaje de una mezcla de sulfato de hierro (4 g l⁻¹), más el surfactante Free-way (1ml l⁻¹) y ácido sulfúrico (pH 3 en la solución), pueden ser utilizadas con éxito para corregir clorosis férrica en suelo con altos niveles de carbonato de calcio (Crane *et al*, 2007), donde las aplicaciones de ácido al suelo no son viables.

En Florida (EE.UU) se evaluó el efecto de aplicaciones foliares de ácidos más sulfato ferroso (SF) en la nutrición de palto var. "Donnie" de 10 años, en suelos calcáreos del sur de Florida y se contrastó con aplicaciones de quelatos de

hierro (EDDHA-Fe) y árboles testigos sin ningún tipo de aplicación de Fe. Las aplicaciones de soluciones de sulfato de hierro más ácido presentaron mayores niveles de clorofila (medida con SPAD) y de Fe a nivel foliar, que el testigo y las aplicaciones de quelato. A partir de esta información se realizaron ensayos similares en la zona de Cabildo en la Región de Valparaíso en un huerto con clorosis férrica evidente en un suelo que presentaba de 3 a 5% de carbonato de calcio.

Durante la temporada 2006, se realizó un experimento donde se compararon tres tratamientos: a) Testigo (manejo del predio) (T1);

b) Aplicación de solución sulfato de hierro 4 g l⁻¹ + surfactante free-way + ácido sulfúrico para lograr pH 3 cada 15 días al follaje (T2) y c) Aplicación solución de sulfato de hierro 4 g l⁻¹ + surfactante free-way + ácido ascórbico para lograr pH 3 cada 15 días al follaje (T3).

En las **Figura 14 y 15**, se presentan los efectos de la aplicación de sulfato de hierro al follaje, observándose un cambio de color importante en las hojas que recibieron sulfato de hierro comparada con los testigos. El cambio de color (más verde) se determinó con el medidor SPAD cuyos valores para una planta sin clorosis férrica son cercanos a 40. En los experi-

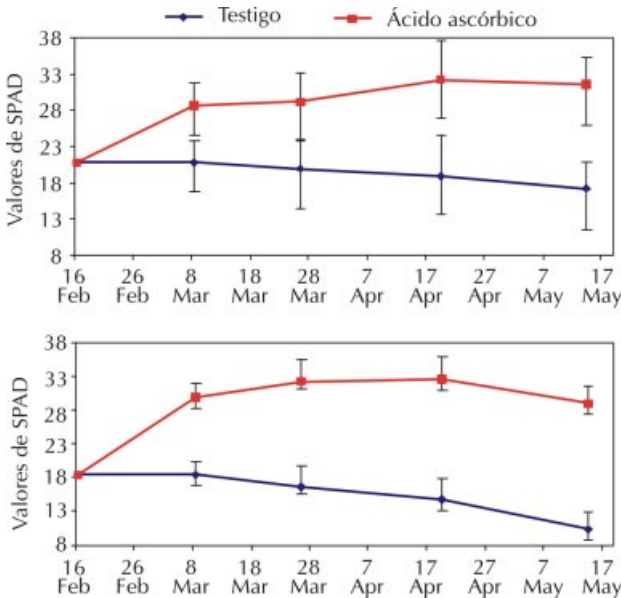


Figura 14. Efecto de la aplicación de sulfato de hierro con ácido al follaje en los valores de SPAD. Aplicaciones cada 15 días, con la primera aplicación realizada el 16 de febrero.

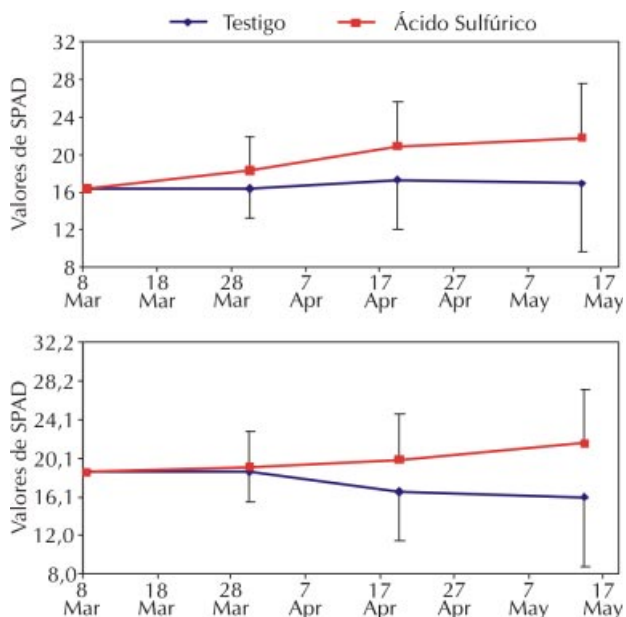


Figura 15. Efecto de la aplicación de sulfato de hierro con ácido al follaje en los valores de SPAD, Aplicaciones cada 15 días siendo la primera aplicación el 8 de marzo.

mentos de la temporada 2006, las aplicaciones iniciadas en el mes de febrero presentan un mejor efecto que las iniciadas en marzo. Las aplicaciones en otoño e invierno tienen un menor efecto (Figura 14 y 15) que las aplicaciones de primavera a verano. En las **Fotos 11, 12 y 13**, se muestra como se manifiesta el cambio de color en una hoja y en un brote cuando se realizan estas aplicaciones. Sin embargo, es necesario indicar que, si bien se produce un aumento del color verde de las

hojas, las aplicaciones producen cierto nivel de daño foliar (**Foto 14**) lo que se manifiesta como una pequeña quemazón de las hojas y caída de éstas en los brotes nuevos, lo que es un daño importante en hojas nuevas y brotes con hojas muy amarillas. Considerando este efecto no deseado, durante la temporada 2007 se corrigió la formulación del producto disminuyendo la cantidad de ácido en la solución, de tal manera de lograr un pH 4. El resto de los componentes no varió.



Foto 11.
Efecto de la aplicación de solución sulfato de hierro 4 g l^{-1} + surfactante freeway + ácido sulfúrico en palto. Círculos rojos muestran brotes con aplicación. (Inicio de aplicación: 16 de febrero).



Foto 12.
Efecto de la aplicación de sulfato de hierro 4 g l^{-1} + surfactante freeway + ácido sulfúrico, en un brote de palto. (Inicio de aplicación: 16 de febrero).



Foto 13.
Comparación entre un brote con aplicación de sulfato de hierro 4 g l^{-1} + surfactante freeway + ácido sulfúrico. (Inicio de aplicación: 16 de febrero) y otro sin aplicación en el mismo árbol.

Foto 14.

Hojas donde se aplicó de sulfato de hierro 4 g l^{-1} + surfactante freeway + ácido sulfúrico y comienzan a producirse cambio de color. También se muestra el daño producto de la aplicación.

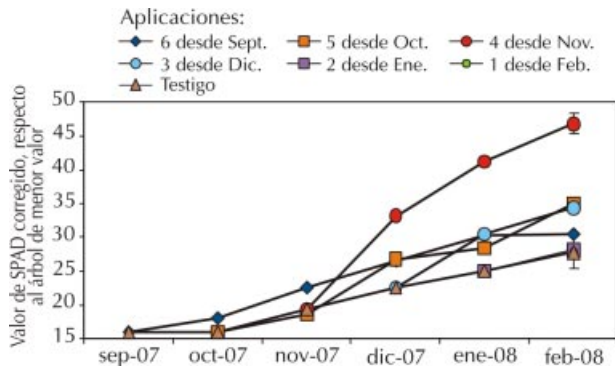


En el experimento realizado en la temporada 2007, las aplicaciones de la solución a pH 4 al follaje se comenzaron a realizar a partir de septiembre, ya que los trabajos de la temporada anterior (2006) demostraron que las aplicaciones de invierno tenían muy poco efecto en la corrección de la clorosis férrica. Adicionalmente, para determinar el período más oportuno para comenzar las aplicaciones, se establecieron tratamientos con diferentes meses de inicio: septiem-

bre, octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero. Las aplicaciones se realizaron una vez al mes, hasta el mes de marzo. De tal forma el tratamiento que comenzó en el mes de septiembre recibió 7 aplicaciones y el que comenzó en febrero recibió una aplicación.

En la **Figura 16**, se observa que las aplicaciones iniciadas a partir del mes noviembre (puntos rojos) presenta la mejor corrección de los síntomas de clorosis férrica en

Figura 16. Efecto de la aplicación foliar de sulfato de hierro 4 g l^{-1} + ácido sulfúrico para lograr pH 4 y surfactante freeway (1ml/litro).



palto, al compararlo con el testigo. Aplicaciones muy tempranas (septiembre a octubre) provocaron daño en las hojas nuevas primaverales y en flores expuestas. En la **Foto 15**, se observa el efecto sobre una de las repeticiones del tratamiento iniciado en noviembre. Los tratamientos que se iniciaron antes de noviembre produjeron

daños en el follaje, sobre todo en los brotes nuevos de primavera y en la floración. Por lo tanto, los tratamientos que se iniciaron temprano en la temporada producen mucho daño en el follaje y en los posteriores a noviembre, su efecto dañino es de poca importancia (Figura 16).

SPAD	Norte	Sur	Promedio
Nov.	16,69	27,94	22,32

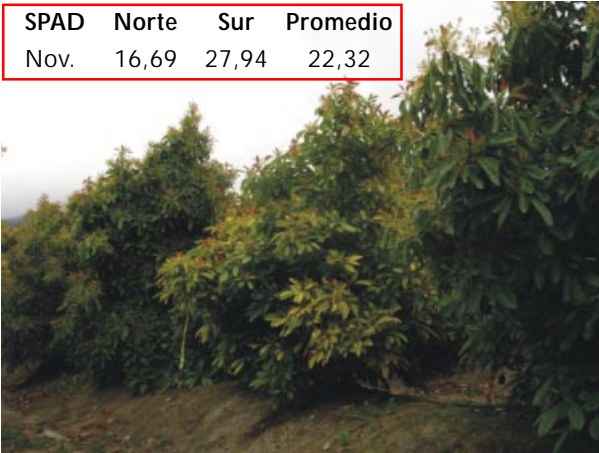


Foto 15a. Árbol con clorosis férrica seleccionado para realizar aplicaciones de sulfato de hierro al follaje a partir de noviembre. (Tomada en noviembre 2007).

SPAD	Norte	Sur	Promedio
Nov.	16,69	27,94	22,32
Marzo	47,71	48,35	48,03

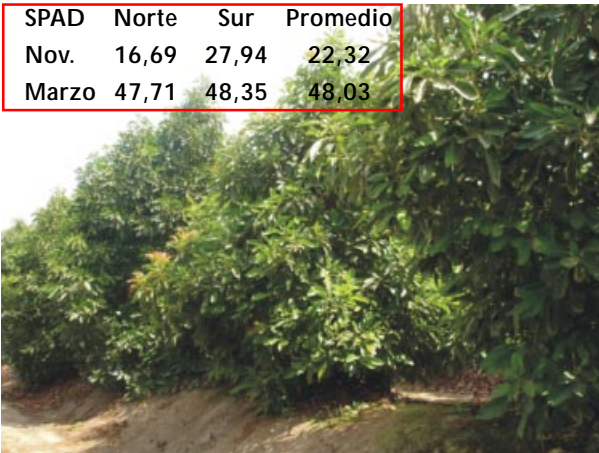


Foto 15b. Árbol con clorosis férrica seleccionado para realizar aplicaciones de sulfato de hierro al follaje a partir de noviembre. (Marzo 2008).

En resumen, las aplicaciones al follaje de una solución de sulfato de hierro 4 g l^{-1} + surfactante freeway + ácido sulfúrico para bajar el pH de la solución a 4, produce un cambio de color en las hojas medido a través de SPAD, lo que es un claro indicador de la disminución de la clorosis férrica. Sin embargo, estas aplicaciones foliares producen un daño en las hojas, que se manifiesta como una quemadura, que se observa en hojas nuevas o muy amarillas. Los resultados mostraron que las aplicaciones deben realizarse mensualmente a partir del mes de noviembre hasta marzo ya que, además, la época de aplicación de otoño e invierno tiene muy poco efecto en el cambio de color en las hojas. Estas soluciones asperjadas sobre el follaje se vislumbran como una alternativa promisoriosa y de bajo costo como una solución a los problemas de clorosis férrica en palto. Es claro, que aún falta validar la tecnología en un espectro mayor de condiciones climáticas y edáficas, quedando pendiente ajustar el pH de la solución para disminuir al máximo el riesgo de producir daños por quemadura, sin alterar la efectividad del producto.

CONCLUSIONES GENERALES

La Región de Valparaíso presenta condiciones climáticas adecuadas para el cultivo del palto, pudiendo llegar a potenciales productivos de 25 Ton/ha, sin embargo, el promedio de producción actual no supera las 10 Ton/ha.

Uno de los problemas asociados a estos bajos niveles productivos se relaciona con alteraciones nutricionales de los árboles producto del elevado pH de los suelos, que afectan principalmente la absorción de algunos micronutrientes, lo que se manifiesta como clorosis en las hojas de los árboles, las que se manifiestan en suelos con: pH mayor a 7,8; niveles de Fe-DTPA inferiores a 15 ppm; con cal activa y/o con HCO_3 sobre 2 mmol L^{-1} . El problema es serio dado que sólo el 30% de los suelos de la Región de Valparaíso presentan un pH adecuado para el desarrollo del palto.

Las correcciones de deficiencias de micronutrientes debido a las causas señaladas son complejas y pueden ser logradas con mayor o menor éxito en el mediano o largo plazo.

La eliminación de los carbonatos de calcio del suelo con altas aplicaciones de ácido no es recomendable en huertos ya establecidos, donde el aumento de la salinidad producto de la acidificación podría dañar el cultivo, sobre todo en suelos con alto contenido de carbonato de calcio.

Existe la alternativa de eliminar o reducir los carbonatos de calcio del suelo acidulando el agua de riego, sin embargo, en las condiciones de este trabajo, no se observó un aumento de la producción ni cambios visuales de la corrección de síntomas de clorosis férrica. No obstante, se constató que las aplicaciones de ácido sulfúrico a través del agua de riego mejoraron el contenido de Fe^{+2} , Zn y boro a nivel foliar. Se estima que esta técnica podría tener efecto en el mediano plazo sobre todo en suelos de pH entre 7,5 a 7,8 con niveles de carbonato de calcio inferiores a 1%. Debe considerarse que este manejo puede ser de alto consumo de ácido sulfúrico cuando las aguas tienen altos niveles de bicarbonatos y ello involucra un alto costo.

Las aplicaciones al suelo de fosfato hidratado de hierro (vivianita) aumentan el contenido de Fe^{+2} en suelos con niveles de carbonato de calcio inferiores a 1%. Por tratarse de un producto de bajo costo, se puede utilizar en los huertos con niveles de carbonatos bajo, con probabilidades de éxito en el mediano plazo.

Las aplicaciones al follaje de una solución de sulfato de hierro 4 g l^{-1} + surfactante freeway + ácido sulfúrico para bajar el pH de la solución a 4, disminuye la clorosis férrica, sin embargo, estas aplicaciones foliares producen quemadura en las hojas nuevas o muy amarillas. La mejor frecuencia y época de aplicación, acorde a los resultados de la investigación, sería una aspersión mensual desde noviembre a marzo. Esta alternativa es promisoriosa y de bajo costo para remediar los problemas de clorosis férrica en palto, sin embargo, se requiere investigar algunos aspectos para ajustar la técnica para minimizar o evitar el daño al follaje, sin alterar la efectividad del producto.

BIBLIOGRAFÍA

Anguiano-Contreras, J. Coria-Avalos, V. M. Ruíz-Corral, J. A. Chávez-León, G. Alcántar-Rocillo, J. J. 2003, Caracterización Edáfica y Climática del área Productora de Aguacate Persea americana cv. "Hass" en Michoacán, México. Actas V Congreso Mundial del Aguacate. 323-328.

Ayers, R. S., Westcot, D. W., 1985. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 29 rev. 1. Roma. Italia.

Brown, A.L., De Boer C. D. 1978. Soil Tests for Zinc, Iron, Manganese and Copper. In: H.M. Reisenauer (ed), Soil and Plant Tissue Testing in California. Univ. of California Div. Agr. Sci. Buh. 1879. 40-42.

Del Campillo, M.C. y Torrent, J. (1992). Predicting the incidence of iron chlorosis in calcareous soils of southern Spain. Communication Soil Science and Plant Anaysis. 23:399-41

CIREN, CHILE. 1997. Estudio agrológico V Región, Descripción de suelos. Centro de Información de los Recursos Naturales. Santiago, Chile. 180p.

CNR, CHILE. 1979. Estudio Integral de riego de los valles Aconcagua, Putaendo, La Ligua y Petorca. Estudio de Suelos. Comisión Nacional de Riego, CHILE. 277p.

CONAMA, CHILE. 2002. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). Geoinformación. Cobertura Geográfica. Carta Base. Comisión Nacional del Medio Ambiente, CHILE. Disponible en: www.sinia.cl. Visitado en: mayo de 2005.

Crane, Jonathan H., Schaffer, Bruce, Li, Y.C., Evans, E., Montas, W., Li, Chunfang 2007 Effect of Foliarly-Applied Acids and Ferrous Sulfate on Iron Nutrition of Avocado Trees.

University of Florida, IFAS, Tropical Research and Education Center, 18905 S.W. 280 St. Homestead, Florida 33031, <http://www.avocadosource.com/wac6/en/extenso/3a-94.pdf> Crane et al 2007.

Embleton, T.W. and Jones, W.W. (1964) Avocado nutrition in California. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 77, 401-405.

Eynard, A., del Campillo, M.C., Barrón, V. y Torrent, J. (1992). Use of vivianite ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) to prevent iron chlorosis in calcareous soils. Fertilizer Research. 31:61-67.

Ferreya, R., y G., Selles, 2007 (eds) Manejo del suelo y riego en palto. Boletín N° 160 Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 119 p

Ferreya, R., Selles, G., Maldonado, P., Celedón, J., Torres, A. 2005. Efecto de la Macroporosidad y Atmósfera del Suelo en el Estado Hídrico del Palto. 56° Congreso Agronómico de Chile. Octubre 11-14, 2005. Chillán. Chile.

- Ferreya, R., Peralta, J. M., Sadzawka, M. A., Muñoz, C. y Valenzuela, J. 2001. Efecto de la Acidificación del Sustrato y del Agua de Riego en la Nutrición, Desarrollo y Producción de Arándano Ojo de Conejo (*Vaccinium ashei* Reade). *Agricultura Técnica, Chile*. 61(4): 453-458.
- Ferreya, R., Peralta, J. M., Sadzawka, M. A., Valenzuela, J. y Muñoz, C. 1998. Efecto de la aplicación de ácido sobre algunas características químicas de un suelo calcáreo. *Agricultura Técnica (Chile)* 58(2): 163-170.
- Iglesias, I., Dalmau, R., Marcé, X., del Campillo, M.C., Barrón, V. y Torrent, J. 1998. Diversos fosfatos de hierro presentan eficacia prolongada en la prevención de la clorosis férrica en peral. *Fruticultura Profesional*. 99: 76-87.
- Katyal and Sharma. 1984. Association of soil properties and soil and plant iron to deficiency response in rice (*Oryza sativa* L.) *Communications in the Soil Science and Plant Analysis* v. 15(9) p. 1065-1081.
- Katyal and Sharma. 1980. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. *Plant and Soil* 55: 105-119.
- Kozłowski T.T. 1997. Response of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiol Monograph* 1:1-29.
- Gardiazábal, F. 2004. Riego y Nutrición en Paltos. 2° Seminario Internacional de Paltos. 29 Septiembre - 1 Octubre, 2004. Sociedad Gardiazábal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile.

- Gregoriu, C. Papademetriu, A. and Christofides, L. 1983. Use of Chelates for Correcting Iron Chlorosis in Avocado Growing in Calcareous Soils in Cyprus. California Avocado Society Yearbook. 67: 115-122.
- Lahav, E. and Whiley, A. 2002. Irrigation and Mineral Nutrition .In: Avocado: Botany, Production and Uses. A.W. Whiley, Quensland Horticultural Institute, Australia; B. Schafer, University of Florida, USA ,and B. N. Wostenholme, University of Natal ,South Africa, Eds. 500p.
- Lahav, E. and Kadman, A. 1980. Avocado Fertilization. Bulletin of the International Potash Institute, No 6. Worblaufen-Bern, Switzerland.
- Loeppert, R.H. y Hallmark, C.T. 1985. Indigenous soil properties influencing the availability of iron in calcareous soils. Soil Science Society of American. 49:597-603.
- Manrchner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. Londres, Inglaterra. 889p.
- Marta, J. 1999. Respuesta del olivo a diferentes fuentes de hierro en suelos y substratos calcáreos. Trabajo Profesional Fin de Carrera. E.T.S.I.A.M. Universidad de Córdoba.
- Mendoza, H. 2002 Alcalinidad y Salinidad: Diagnostico, Efecto Sobre la Producción y Soluciones. Primer Simposio Internacional Fertirrigación y Control en Frutales y Viñas. Santiago. Chile.

- Mengel, K. 1995. Iron Availability in Plant Tissues-Iron Chlorosis on Calcareous Soil. *Plant and Soil*. 165 (2) 275-283.
- Mengel, K and Kirkby, E. A. 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Bern, Suiza. 687p.
- Miyamoto, S.; Ryan J. and Stroehlein, J. L. 1975. Sulfuric Acid for the Treatment of Ammoniated Irrigation Water: I. Reducing Ammonia Volatilization. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39: 544-548.
- Mortvedt, J. J. 2000. Bioavailability of Micronutrients. In: Sumner, M (ed). *Handbook of Soil Science*. CRS press, Boca Raton. USA. D-71, D-88.
- North and Wallace. 1952. Lime Induced Chlorosis in Avocado and a Possible Method of Control. *California Avocado Society 1952 Yearbook* 37: 177-186. USA.
- Opazo, J. 1994. Fertilización de Suelos. En: *Suelo una Visión Actualizada del Recurso*. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 38. 2ª Ed. Santiago. Chile. 91-118.
- Razeto, B. 1993. La Nutrición Mineral de los Frutales, Deficiencias y Excesos. SOQUIMICH, Santiago. Chile. 96p.
- Rosado, R., del Campillo, M.C., Barrón, V. y Torrent, J. 2000. Long term effect of vivianite in preventing iron chlorosis in olives on calcareous soils. 10th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants. Houston, USA.

- Ruiz, R., Ferreyra y C., Barrera 2007 Manejo del suelo y nutrición en suelos con problemas de aireación. González, M.; Muñoz, I. y Ferreyra, R. (eds) Manejo del riego y suelo en el cultivo del palto. Serie Actas N° 41, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 93 - 106 p
- Ryan, J., Stroehlein, J. L., Miyamoto, S. 1975. Sulfuric Acid Applications to Calcareous Soils: Effects on Growth and Chlorophyll Content of Common Bermudagrass in the Greenhouse. *Agronomy Journal*. Vol 67: 633-637.
- Ryan, J., Stroehlein, J. L. 1974. Sulfuric Acid Treatment of Calcareous Soils: Effects on Phosphorus Solubility, Inorganic Phosphorus Forms and Plant Growth. *Soil Fertility and Plant Nutrition* 40: 421-427.
- Salazar-García, S. 2002. Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones. Ignacio Iazcano-Ferrat, Instituto de la Potasa y el Fósforo A.C. Eds. Querétaro, México. 165p.
- Salazar-García, S. 1999. Iron Nutrition and Deficiency: A Review with Emphasis in Avocado (*Persea Americana* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(2):67-76. México.
- Wiley, A., Schaffer, B., Wolstenholme, B. N. 2002. Avocado: Botany, Production and Uses. CBI publishing. New York. USA. 500p.

- Wiley, A. 2001. Interpretación de la Fenología y Fisiología del Palto para Obtener Mayores Producciones Australian & New Zealand Avocado Growers Conference 2001 Bundaberg, Queensland, Australia, 3rd June to 7th June, 2001.
- Wiley, A.W. Smith, T. E. Saranah, J. B. and B. N. Wostenholme. 1996. Boron Nutrition of Avocados. *Talking Avocados* 7(2):12-15.
- Wiley, A. Pegg, K. G. and Saranah, J. B. 1984. The investigation of Nutrition, pH and Ridomil on Suppression of Phytophthora Root Rot in Avocado (a progress report). *California Avocado Society Yearbook*. 68:179-181.
- Witney (2006) Irrigation and iron chlorosis in orchards. http://www.avocadosource.com/journals/avoresearch/avoresearch_2006_winter.pdf
- Zude-Sasse, M. and Schaffer, B. 2000. Influence of soil oxygen depletion on iron uptake and reduction in mango (*Mangifera indica* L.) roots. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 113, 1-4.

