



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela de Agronomía

El cobre en la nutrición del cultivo del arándano
(*Vaccinium corymbosum* L.) en suelos volcánicos
del sur de Chile

Memoria presentada como parte de los
requisitos para optar al título de
Ingeniero Agrónomo

Daniela María Olga Leal Echeverría

VALDIVIA – CHILE
2012

PROFESOR PATROCINANTE:

Dante Pinochet T.
Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.
Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos

PROFESORES INFORMANTES:

Juan Nissen M.
Ing. Agr., Dr. rer. hort.
Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos

Alex Maraboli S.
Ing. Agr.
Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	3
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	El cultivo del arándano	5
2.1.1	Descripción general y morfología	5
2.1.2	Especies de arándano cultivadas	6
2.1.3	Requerimientos del cultivo	6
2.1.3.1	Clima	6
2.1.3.2	Suelo	7
2.1.3.3	Nutrición	7
2.1.4	Manejo cultural	7
2.2	Situación internacional	8
2.2.1	Superficie plantada y producción	8
2.2.2	Precios internacionales	10
2.3	Situación nacional	11
2.3.1	Cultivares de arándano en Chile	11
2.3.2	Superficie plantada	12

2.3.3	Producción y mercados de destino	12
2.3.4	Evolución de los precios	14
2.4	El cultivo del arándano en los suelos volcánicos del sur de Chile	15
2.4.1	Caracterización de los suelos volcánicos	15
2.4.2	Tecnologías de producción del cultivo	17
2.4.3	Problemas productivos y nutricionales	18
2.5	La importancia del cobre y su disponibilidad	18
3	MATERIAL Y MÉTODO	21
3.1	Materiales	21
3.1.1	Ubicación de los ensayos	21
3.1.2	Características edáficas de los sitios	21
3.1.3	Clima	23
3.1.4	Variedades de arándano	24
3.2	Métodos	25
3.2.1	Distribución de los ensayos	25
3.2.2	Manejo de la fertilidad del suelo	26
3.2.3	Toma de muestras y registro de datos en terreno	27
3.2.3.1	Muestreo de hojas	27
3.2.3.2	Cosecha	27
3.2.3.3	Muestreo de frutos	27

3.2.3.4	Muestreo de suelo	27
3.2.4	Procesamiento y análisis de las muestras	28
3.2.4.1	Suelo	28
3.2.4.2	Hojas	28
3.2.4.3	Frutos	28
3.2.4.3.1	Almacenamiento de las muestras	28
3.2.4.3.2	Análisis de calidad	28
3.2.5	Análisis de datos	30
3.2.5.1	Nivel crítico de cobre en el suelo	30
3.2.5.2	Momento óptimo de muestreo foliar y concentración crítica en el tejido	31
3.2.5.3	Evaluación de los parámetros de calidad de fruto	32
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	34
4.1	Rendimiento	34
4.2	Momento óptimo de muestreo foliar	38
4.2.1	Variación de cobre foliar en la variedad Brigitta	39
4.2.2	Variación de cobre foliar en la variedad Elliot	40
4.3	Nivel crítico de cobre en el tejido foliar	41
4.4	Calidad de fruto	46
4.4.1	Calibre	46

4.4.2	Peso	48
4.4.3	Tipo de fruto	50
4.4.4	Firmeza	53
4.4.5	Razón entre sólidos solubles y acidez titulable	55
5	CONCLUSIONES	58
6	BIBLIOGRAFÍA	60
7	ANEXOS	66

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Niveles foliares críticos y extracción de nutrientes por tonelada de producción para arándano alto, frambuesa y frutilla	8
2	Producción mundial de arándano alto (t) en el año 2007	10
3	Superficie plantada con arándanos a nivel nacional	12
4	Destino de la producción chilena de arándano (t)	13
5	Características químicas y físicas de algunos suelos volcánicos del sur de Chile	17
6	Ubicación e identificación de los sitios en estudio	21
7	Características físicas de las series de suelo	22
8	Datos climáticos de las comunas donde se ubican los ensayos	23
9	Variedades presentes en los cuarteles en estudio y sus edades productivas	24
10	Niveles de toxicidad de cobre del suelo extraído con diferentes soluciones extractoras, para distintos cultivos	36
11	Valores de ajuste de la regresión lineal para los muestreos foliares de marzo y abril	43

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Distribución porcentual de la superficie plantada con arándanos en el mundo	9
2	Evolución de precios de arándanos frescos en E.E.U.U (Miami)	11
3	Evolución de las exportaciones, en miles de dólares (FOB)	14
4	Evolución de los precios FOB (US\$) por caja de arándanos	14
5	Superficie aislada de los dos sitios estudiados por cada cuartel	25
6	Bloqueo de la aplicación de fertilizantes en el área de ensayo	26
7	Rendimiento de las variedades Brigitta y Elliot establecidas en suelos con diferentes niveles de cobre extractable	34
8	Determinación del nivel crítico de cobre extractable para el cultivo del arándano en suelos volcánicos del sur de Chile	37
9	Rendimiento promedio obtenido de las variedades Elliot y Brigitta, en forma individual y en conjunto, establecidas en suelos con diferentes niveles de cobre extractable	38
10	Variación de la concentración de cobre del tejido foliar en el tiempo en la variedad Brigitta	39
11	Variación de la concentración de cobre del tejido foliar en el tiempo en la variedad Elliot	40
12	Relación entre el nivel de cobre extractable del suelo y la	42

	concentración de cobre en el tejido foliar medida en los meses de marzo y abril	
13	Regresión lineal entre el nivel de cobre extractable del suelo y la concentración de cobre en el tejido foliar	42
14	Concentración crítica de cobre foliar de 4,1 ppm con respecto a las concentraciones foliares de los ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo	45
15	Concentración crítica de cobre foliar de 2,9 ppm con respecto a las concentraciones foliares de los ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo	46
16	Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el calibre de frutos	47
17	Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el peso de frutos, según su calibre	49
18	Relación entre el nivel de cobre del suelo y el peso promedio de los frutos del calibre modal obtenido en cada uno de los niveles	49
19	Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el tipo de fruto obtenido al momento de la cosecha	51
20	Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el tipo de fruto obtenido a los 20 días de poscosecha	51
21	Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el tipo de fruto obtenido a los 40 días de poscosecha	52
22	Efecto del nivel de cobre del suelo sobre la firmeza de frutos de arándano a la cosecha y en la poscosecha (20 y 40 días)	53
23	Relación entre el nivel de cobre en el suelo y la firmeza de frutos de arándano a la cosecha y a los 20 y 40 días de poscosecha	55

24	Efecto del nivel de cobre del suelo sobre la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable de frutos de arándano a la cosecha y a los 20 y 40 días de poscosecha	56
25	Relación entre el nivel de cobre en el suelo y la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable, medida en la cosecha y en la poscosecha (20 y 40 días)	57

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Análisis químico de suelos correspondientes al diagnóstico nutricional de los huertos asociados	66
2	Rendimiento total temporada 2009/2010 obtenido en cada uno de los cuarteles estudiados	67
3	Análisis químico de los sitios estudiados (repeticiones 1, 2, y 3 corresponden al sitio 1, y repeticiones 4, 5 y 6 al sitio 2), realizados al final de la temporada	69
4	Concentraciones foliares de Cu obtenidas de cada una de las repeticiones para cada uno de los muestreos (ppm)	70
5	Resultados de los análisis de calidad de frutos realizados en la cosecha y en la poscosecha	72
6	Relación entre el nivel de cobre en el suelo y la concentración de cobre foliar (ppm), determinada en los muestreos 5 y 6	86

RESUMEN

La mayor producción de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) del hemisferio sur se produce en Chile, encontrándose la mayor área de cultivo entre las Regiones del Maule y Los Ríos. En general, el cultivo ha sido guiado con tecnologías norteamericanas, que no han sido calibradas para las condiciones edafoclimáticas específicas del sur de Chile. Estudios preliminares han detectado problemas relacionados con la nutrición del cultivo (deficiencia foliar de nitrógeno, fósforo, cobre, y un exceso de aluminio), afectando los rendimientos y provocando pérdidas económicas. Adicionalmente, se asocian problemas en la calidad de frutos, afectados por factores desconocidos, los cuales se podrían atribuir a deficiencias de ciertos nutrientes.

Con el objetivo de determinar cómo la nutrición con cobre disponible en el suelo condiciona el rendimiento y la calidad de frutos de arándano, se evaluaron diferentes niveles de cobre extractables (desde 0,6 a 2,5 ppm) en cuatro huertos de arándanos del sur de Chile (Región de los Ríos) en suelos volcánicos, evaluándose el rendimiento y la calidad de frutos de una variedad tardía (Elliot) y una semi-tardía (Brigitta) durante la temporada 2009/2010.

Se correlacionó el nivel de cobre disponible en el suelo con el rendimiento y se determinó un nivel crítico del nutriente en el suelo para separar sitios con niveles deficientes o suficientes. El nivel de cobre en el suelo afectó la concentración de cobre en el tejido foliar y se determinó la mejor época de muestreo foliar para detectar estados de deficiencia y suficiencia en la nutrición del cultivo. Por último, parámetros de la calidad de fruto se midieron en cosecha y poscosecha (20 y 40 días) y se correlacionaron con los niveles de deficiencia o suficiencia del cobre en el suelo.

Se propone un nivel crítico de cobre extractable en el suelo de 1,8 ppm. A nivel foliar, las mayores diferencias de concentración de cobre foliar se manifiestan en los meses de marzo y abril, donde el nivel crítico foliar fue de 2,9 y 4,1 ppm, respectivamente. No se determinó un efecto definitivo de la nutrición con cobre en la calidad de fruto de los huertos evaluados en ninguna de las épocas de muestreo.

SUMMARY

Chile has the highest production of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) in the southern hemisphere. The highest crop area is between Maule and Los Rios Regions. In general, the agricultural management crop practices come from U.S.A. and they are not calibrated for Chilean specific soil and climatic conditions. In preliminary studies problems related to crop nutrition (low nitrogen, phosphorus and copper foliar indexes and aluminum excess were identified), affecting fruit yields and therefore causing economic losses. Also, problems associated to fruit quality, affected by unknown factors, which could be attributed to deficiencies of certain nutrients.

In order to determine how soil available copper nutrition affect blueberries yield and fruit quality, we evaluate different levels of soil extractable copper (from 0.6 to 2.5 ppm) in four farms in the south of Chile (Region de Los Rios) where volcanic soils are common, evaluating performance and quality of fruits of a late season variety (Elliot) and a semi-late season variety (Brigitta) during 2009/2010 crop season.

The level of soil extractable copper was correlated with crop yield and a soil critical extractable copper level was determined to separate sites with deficient or sufficient levels. The soil copper level affected the foliar tissues copper concentration and the proper time to foliar sampling was determined for detecting deficiency and sufficiency copper crop nutrition. Parameters to evaluate fruit quality were measured at harvest and postharvest (20 and 40 days) time and they were correlated with copper extractability indicating deficiency or sufficiency in soil.

For agronomic practices a critical level of extractable copper in the soil of 1.8 ppm is proposed. To foliar levels the highest copper concentration differences were manifested from March to April, where the foliar critical level was 2.9 and 4.1 ppm, respectively. A definitive effect of copper nutrition on fruit quality from the orchards evaluated in any of the sampling season was not determined.

1 INTRODUCCION

En los últimos años el arándano se ha convertido en un producto con grandes expectativas económicas para el sector exportador. Chile es el primer país exportador a contra-estación con el hemisferio norte, cuyo principal destino es la exportación en fresco, superando a países desarrollados del hemisferio sur como son Australia y Nueva Zelanda. Esto se logró gracias al aumento de la superficie cultivada y a la creciente demanda internacional por productos más sanos y naturales.

El cultivo se concentra en la zona sur y centro-sur del país, cuyo periodo de producción puede extenderse hasta el mes de abril con el uso de variedades tardías, obteniéndose buenos precios en el mercado extranjero, ya que son pocos los países que pueden llegar en esta época con fruta fresca a contra-estación en el hemisferio norte.

Sin embargo, el cultivo es guiado con tecnologías de producción generadas en Estados Unidos, las cuales no se han adaptado bien a las condiciones edafoclimáticas de la zona sur, generando rendimientos erráticos y problemas en la calidad de los frutos. Esto, junto con la disminución de los precios pagados en el extranjero y el aumento del precio de los agroquímicos, ha traído como consecuencia una disminución en los ingresos percibidos por los productores.

Es por esta razón que es importante hacer más eficientes los sistemas de producción, sobre todo la utilización de fertilizantes, encontrando el rango óptimo de nutrientes que permitan obtener un rendimiento cercano al potencial edafoclimático de la zona sur. También, para obtener una buena calidad de frutos en la cosecha y en la poscosecha, además de un buen rendimiento, es importante suministrar todos los nutrientes esenciales en cantidad suficiente y adecuada. El cobre es un micronutriente esencial, el cual se ha determinado en niveles deficientes a nivel foliar, de acuerdo con los estándares internacionales, en huertos del sur de Chile. Por lo tanto, es necesario determinar el nivel suficiente de este nutriente en el suelo que permita obtener un rendimiento óptimo, y evaluar si esta suficiencia tiene un efecto sobre la calidad de fruto en la cosecha y en la poscosecha, de manera de asegurar una alta producción de fruta, que además llegue en buenas condiciones a los mercados de destino.

De acuerdo a los antecedentes expuestos, se plantea como hipótesis para este trabajo que el nivel de cobre disponible presente en suelos volcánicos del sur de Chile condiciona el rendimiento y la calidad de los frutos del cultivo de arándano en la cosecha y en la poscosecha.

El objetivo general fue evaluar el efecto del nivel de cobre disponible en el suelo sobre el rendimiento y la calidad de frutos de arándanos semi-tardíos y tardíos cultivados en suelos volcánicos del sur de Chile.

Los objetivos específicos fueron:

- Relacionar los niveles de cobre disponible en el suelo con el rendimiento del cultivo.
- Determinar el nivel crítico de cobre en el suelo para evaluar sitios con niveles de deficiencia o suficiencia en la disponibilidad con respecto al rendimiento y calidad del arándano.
- Determinar la variación en la concentración de cobre foliar y establecer el momento óptimo de muestreo para realizar un diagnóstico nutricional.
- Relacionar los niveles de cobre en el suelo con las concentraciones de cobre a nivel foliar.
- Determinar el nivel crítico de cobre en el tejido foliar y establecer la mejor época de muestreo foliar para diferenciar estados de deficiencia y suficiencia de cobre de acuerdo con el análisis de suelo.
- Relacionar la deficiencia y suficiencia de cobre en el suelo con parámetros de calidad de fruto, medidos en la cosecha y a los 20 y 40 días de poscosecha.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 El cultivo del arándano

El fruto del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) es muy apreciado en los mercados estadounidense y europeo, por sus características, propiedades y sabor. Su cultivo en forma intensiva es una alternativa de exportación viable, que entrega un buen retorno de la inversión a largo plazo, debido a los ciclos de madurez de las plantas y la importante inversión inicial que requiere, necesitando de soporte técnico y comercial y de cuidados constantes en su plantación, cosecha y selección (FORBES *et. al.*, 2009).

2.1.1 Descripción general y morfología. El arándano es un frutal arbustivo nativo de Norteamérica, pertenece al grupo de las berries y está clasificado en la familia Ericaceae, género *Corymbosum*. La planta es erecta, por lo general decidua. Las hojas son alternas, cortamente pediceladas, enteras o aserradas. Sus flores pueden ser axilares o terminales, en racimo. El fruto es una falsa baya esférica, por provenir de una flor epígina; de color azul metálico, con 8 – 18 semillas blandas y pequeñas (SUDZUKI, 2002).

Una característica de este fruto es que es climatérico, pues responde a la presencia de etileno en el ambiente. Cambia notablemente de color una vez cosechado, pero al respecto hay diferencias varietales, por ejemplo, las variedades tempranas se pueden cosechar antes de que el fruto se torne azul por completo, logrando su coloración completa en poscosecha, incluso en cámara de frío. En cambio, las variedades tardías se deben cosechar sólo cuando el fruto se torne totalmente azul, pues no cambia de color una vez cosechado (CHILE, INSTITUTO DE DESARROLLO AGROPECUARIO (INDAP), 2005).

Su sistema radicular es superficial, fibroso, de poca extensión y con una baja capacidad de absorción, ya que carece de pelos radicales (DINAMARCA, 2005). Es por esta razón que son las raíces jóvenes las que, principalmente, realizan la labor de absorción, las cuales tienen un diámetro de hasta 75 micrones y pueden contener hasta tres corridas de células epidermales, aunque por lo general poseen sólo una

corrida de ellas. Son estas células las que en condiciones naturales se encuentran invadidas por hongos micorrízicos, con los cuales se asocian a través de procesos simbióticos (INDAP, 2005).

Es una de las especies de más reciente domesticación, pues los programas formales de mejoramiento genético comenzaron a principios del siglo XX. De las 30 especies que componen este género, *Vaccinium corymbosum* (arándano alto), *V. ashei* Reade (ojo de conejo), *V. macrocarpon* Aiton (Cranberry), *V. vitis-idaea* L. (Lingonberry) y *V. myrtillus* L. (Bilberry) tienen importancia comercial (INDAP, 2009a).

2.1.2 Especies de arándano cultivadas. Según OLIVARES (2009), en el mundo se cultivan los arándanos “altos” (*V. corymbosum* L.), “ojo de conejo” (*V. ashei* Reade), “bajos” (*V. angustifolium* L.) e híbridos (provenientes de cruzamientos entre *V. corymbosum* y *V. angustifolium*).

La especie que primero se cultivó fue el arándano alto, obtenida a través de selecciones provenientes de cruzamientos de *V. corymbosum* L. con *V. australe* Small. Debido al largo proceso de mejoramiento al que ha sido sometido, este tipo de arándano es el que produce la fruta de mayor calidad y es el que requiere menor cantidad de horas frío acumuladas (Buzeta, 1997; Chile, Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), 1993 y Sudzuki, 2002, citados por BETANZO, 2005). Incluye a los arándanos altos del norte, altos del sur y a los de altura media. Los primeros representan la mayor superficie cultivada a nivel mundial, con un 75% de participación en el cultivo de este fruto, destinado tanto a consumo en fresco como a procesado (BAÑADOS, 2005).

Dentro de este grupo se encuentran los cultivares Bluecrop, Duke, Elliot, entre otros (BAÑADOS, 2005).

2.1.3 Requerimientos del cultivo. El arándano puede crecer en una amplia variedad de climas, ya que hay cultivares que pueden adaptarse muy bien en climas fríos y otros se desarrollan mejor en climas más cálidos. Sin embargo, requieren de condiciones edáficas y de manejo agronómico específicos para su óptimo desarrollo (INDAP, 2009b).

2.1.3.1 Clima. Requiere de 400 – 1100 horas de frío, por lo tanto, puede crecer en una amplia gama de climas. Durante el periodo de maduración de la fruta, las temperaturas

superiores a 27°C, junto con vientos desecantes, producen calentamiento y deshidratación de las bayas. Su sabor y aroma son mejores si se cultiva en zonas con noches frías durante el periodo de maduración (DINAMARCA, 2005).

Los arándanos altos del norte, específicamente, requieren de 800 a 1200 horas de frío, y pueden resistir hasta – 30°C en invierno (INDAP, 2005).

2.1.3.2 Suelo. Los arándanos crecen mejor en suelos ácidos, de pH 4 – 5, arenosos, turbo arenosos o arcillosos, de baja fertilidad y no muy profundos; sin embargo, en climas muy calurosos y secos, las plantas pueden morir en suelos muy delgados. Estos deben ser con un buen drenaje, con humedad superficial durante los meses de verano, aunque en el periodo de crecimiento la napa freática no puede subir sobre los 40 cm. Sólo soportan el anegamiento en invierno (SUDZUKI, 2002).

2.1.3.3 Nutrición. Como el arándano se desarrolla normalmente en condiciones de suelos ácidos, donde los niveles de muchos nutrientes se mantienen bajos, en general requiere de poca fertilidad, siendo sensible a excesos de fertilización. Debido a este comportamiento especial del arándano, en cuanto a lo que se refiere a nutrición, es que muchas prácticas que son comunes para otros berries, no son apropiadas para el arándano. Por ejemplo, presenta menores niveles críticos foliares de los macronutrientes en comparación a frambuesa y frutilla, y una menor extracción de estos que la frambuesa, por tonelada de fruta producida (VIDAL, 2005). En el Cuadro 1 se presentan los niveles foliares óptimos de los nutrientes esenciales y la extracción de macronutrientes por tonelada de fruta producida.

En relación a la tasa de absorción de nutrientes, ésta depende del nivel de producción y edad de la planta. Por ejemplo, la absorción de nutrientes en el arándano en el primer y segundo año de establecimiento es considerablemente menor a cuando está en plena producción (VIDAL, 2005).

2.1.4 Manejo cultural. Este cultivo se puede propagar por estacas de madera vieja o nueva, aunque comercialmente se utilizan las de madera adulta. Éstas se obtienen a principios de primavera, de un tallo en latencia del crecimiento de la estación anterior. Se recomienda plantarlas a principios de primavera, o a principios o fines de otoño. Además, debe mantenerse el suelo suelto superficialmente alrededor de las plantas. La poda debe hacerse durante el periodo de latencia, eliminando las ramas viejas y cañas

débiles desde la base, ya que los mejores frutos se desarrollan en las cañas vigorosas (SUDZUKI, 2002).

CUADRO 1 Niveles foliares críticos y extracción de nutrientes por tonelada de producción para arándano alto, frambuesa y frutilla.

Nutriente	Nivel foliar crítico (%)			Extracción (kg ton ⁻¹ en fruto)		
	Arándano	Frambuesa	Frutilla	Arándano	Frambuesa	Frutilla
N	1,80	2,75	2,80	4,7	16,9	2,5
P	0,12	0,30	0,25	0,5	1,6	0,5
K	0,35	1,50	1,50	4,0	8,0	3,8
Ca	0,40	0,60	0,70	1,4	5,7	1,1
Mg	0,12	0,40	0,25	0,8	2,3	0,5

FUENTE: VIDAL (2005).

2.2 Situación internacional

A continuación se presentan antecedentes acerca de la superficie plantada, exportaciones, precios internacionales y de mercados de destino del arándano.

2.2.1 Superficie plantada y producción. En el año 2005 la producción mundial alcanzó las 518.000 toneladas métricas, distribuidas en 65.600 ha, de las cuales un 30% corresponde a superficie cultivada y un 70% a superficie silvestre. Estados Unidos y Canadá representan el 96% de la producción mundial (en t) y un 90% del área productiva total (en ha) (MAGGA TRANSFORMATION CAPITAL, 2005).

En la temporada 2008/2009, la superficie mundial cultivada con arándanos superó las 66.000 ha, de las cuales 48.000 correspondían al hemisferio norte (79%) y 18.000 al hemisferio sur (21%) (SOTO *et al.*, 2010).

La distribución de esta superficie corresponde mayoritariamente a Estados Unidos y Canadá, quienes concentran el 58,1%, luego Chile con una participación del 16,5% a

nivel mundial. Constituyendo el 25,4% restante de la superficie cultivada se encuentran Argentina, Europa occidental, Europa del Este, Asia y el resto de los países, con una participación de 6,7, 6,4, 4,7, 3,1 y 4,5%, respectivamente (Figura 1) (SOTO *et al.*, 2010).

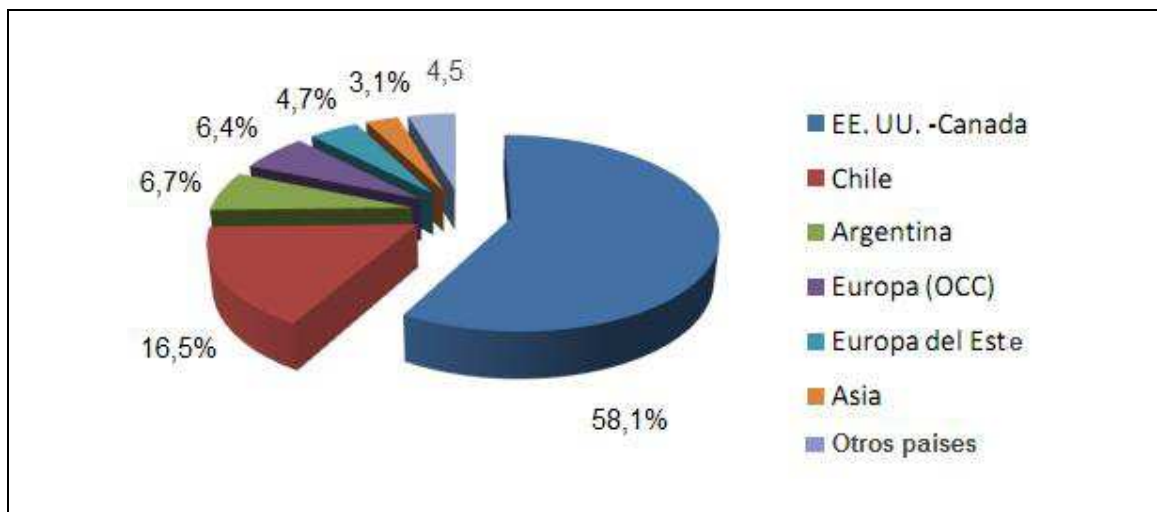


FIGURA 1 Distribución porcentual de la superficie plantada con arándanos en el mundo.

FUENTE: Adaptado de SOTO *et al.* (2010).

En el hemisferio norte, Estados Unidos y Canadá son los mayores productores y comercializadores a nivel mundial. Le sigue, con una producción mucho menor, Polonia (PÉREZ y MAZZONE, 2006).

Según Pollack y Pérez (2005), citados por PÉREZ y MAZZONE (2006), entre los años 2000 – 2004, Estados Unidos, Canadá y Polonia participaron en el 51%, 30% y 10% de la producción mundial, respectivamente. Estados Unidos alcanza las 36.000 ha plantadas, distribuidas entre especies silvestres y cultivadas, Canadá posee 5.500 ha plantadas con especies cultivadas y Polonia produce sólo arándano silvestre.

Los países productores del hemisferio sur exportan un gran volumen de fruta en contra-estación hacia el hemisferio norte durante los meses de septiembre a abril, orientándose en un 90% a la exportación en fresco (BRUNO, 2008).

Chile es el mayor productor del hemisferio sur, le siguen Argentina, Nueva Zelanda, Australia y Sudáfrica. Los dos primeros entregan arándanos frescos a los principales

mercados del hemisferio norte; Estados Unidos, Canadá y algunos países europeos, cuando están en invierno y no pueden abastecerse con su producción local (INDAP, 2009b). Una información similar, con respecto a la producción mundial de arándano alto, es la que señalan SOTO *et al.* (2010), quienes además, señalan la producción destinada al comercio como producto fresco y como procesado (Cuadro 2).

CUADRO 2 Producción mundial de arándano alto (t) en el año 2007.

Países	Fresco (t)	Procesado (t)
Estados Unidos/Canadá	178.000	138.000
Chile	22.500	2.500
Europa (Polonia y Alemania representan el 70%)	6.500	15.300
Argentina (y resto de América latina)	9.000	1.500
Oceanía	3.100	s.i
Asia (China)	1.400	s.i
Sudáfrica	550	s.i
Total mundial	221.050	157.300

s.i: sin información.

FUENTE: Adaptado de SOTO *et al.* (2010).

Entre los otros países del hemisferio sur destacan Sudáfrica, que duplicó su superficie en cuatro años, pasando de 300 a 600 ha, y Australia y Nueva Zelanda, que alcanzaron las 1.250 ha en el año 2008 (BRUNO, 2008).

2.2.2 Precios internacionales. El precio de los arándanos frescos ha repuntado levemente en el mercado de Estados Unidos, debido a la menor oferta de arándanos del sur y a la oferta constante de arándanos del norte, la cual aún no aumenta. En la Figura 2 se observa la variación en el precio pagado por caja en Miami (en U\$), el cual

es mayor en la temporada 2009/2010, en comparación con la temporada 2008/2009. En la Figura 2 también se señala en qué periodo el producto proviene de Chile y cuándo de Estados Unidos. Además, en dicha figura se puede observar que los mayores precios se pagan a las producciones tempranas y tardías (cercas a las semanas 39 y 15, respectivamente). Los arándanos procesados alcanzan un precio de U\$2.200 a U\$2.400/t, como producto terminado, pues existe una alta demanda de ellos por bajos inventarios de la temporada anterior (2008/2009).

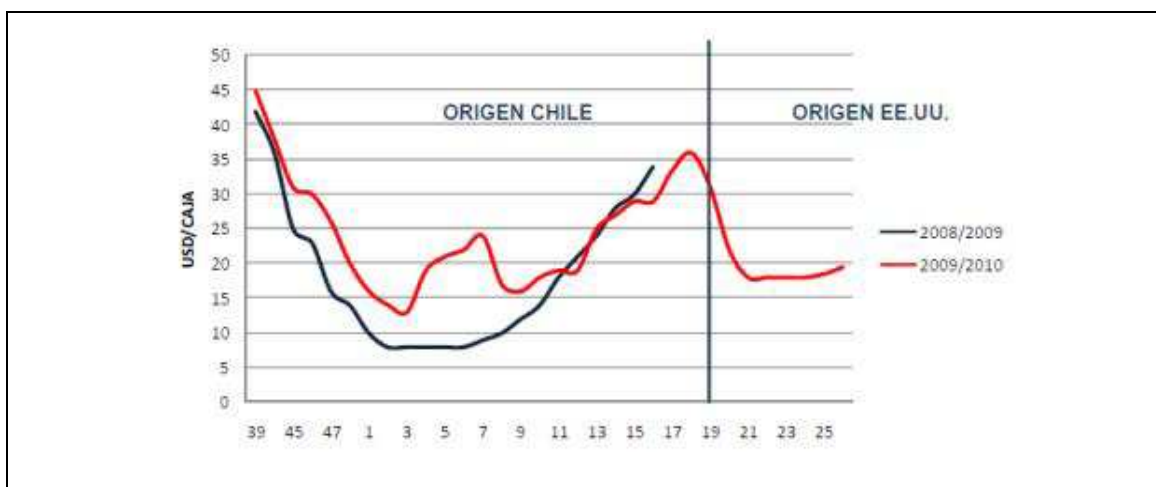


FIGURA 2 Evolución de precios de arándanos frescos en E.E.U.U (Miami).

FUENTE: ProChile, citado por SOTO *et al.* (2010).

2.3 Situación nacional

El arándano es una especie que registra investigaciones en Chile a fines de la década de los setenta, comenzando a cultivarse comercialmente a mediados de la década de los ochenta (Revista Hortifruticultura, 2008, citado por LEYTON y RODRÍGUEZ, 2010).

Actualmente, Chile es el tercer productor mundial de arándanos (después de Estados Unidos y Canadá), berry que presenta las mejores expectativas de exportación en estado fresco, mayoritariamente por vía marítima, debido a su resistencia en poscosecha (AZÓCAR, 2007).

2.3.1 Cultivares de arándano en Chile. En Chile la especie más cultivada es el arándano “alto”, ocupando más del 90% de la superficie cultivada (Bañados, 2005, citado por SÁNCHEZ, 2006). Los arándanos altos del norte comprenden los cultivares

Bluecrop, Blueray, Duke y Elliot, entre otros. A los altos del sur pertenecen O'Neal, Georgia Gem y Misty, entre otros (DINAMARCA, 2005).

2.3.2 Superficie plantada. Las plantaciones de arándanos están concentradas entre las Regiones del Maule y de Los Lagos (DINAMARCA, 2005). Sin embargo, productores líderes están plantando en regiones ubicadas más al norte del país, con el objetivo de obtener una oferta más temprana (INDAP, 2005).

Según CHILEAN BLUEBERRY COMMITTEE (2010), la superficie plantada a nivel nacional corresponde a 12.500 ha, de las cuales el 81% se encuentran en la zona centro-sur y sur del país. Les sigue en importancia la zona centro, que concentra el 16% de la superficie plantada, y por último, la zona norte, que concentran un 3,4% de la superficie total. En el Cuadro 3 se presenta la superficie cultivada por cada zona productora en el país y el total nacional.

CUADRO 3 Superficie plantada con arándanos a nivel nacional

Zonas	Regiones productivas	Superficie (ha)
Norte	Atacama y Coquimbo	430
Centro	Valparaíso y Metropolitana	1.980
Centro-Sur	Libertador Gral. Bdo. O'Higgins, Maule y Bío-Bío	5.610
Sur	Araucanía, Los Ríos y Los Lagos	4.480
Total		12.500

FUENTE: CHILEAN BLUEBERRY COMMITTEE (2010).

2.3.3 Producción y mercados de destino. Chile alcanza una producción anual superior a las 68.000 toneladas. El principal destino de la producción es la exportación, principalmente como producto fresco, la cual ha ido en aumento durante los últimos años, tanto para el producto en fresco como congelado. El resto de los productos de

exportación se producen en cantidades relativamente constantes. El consumo local es prácticamente nulo y levemente aumentó en los últimos años (DOMINGUEZ, 2011).

En el Cuadro 4 se puede observar la variación en el tiempo de las toneladas destinadas a cada tipo de producto (exportado y de consumo local), junto con su participación dentro de la producción total de cada año en específico. Además, se observa el total de la producción anual, la cual ha aumentado más de cuatro veces en el periodo de análisis.

CUADRO 4 Destino de la producción chilena de arándano (t).

Producto	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Exportación						
Fresco	11.938 (77%)	15.433 (71%)	20.972 (80%)	35.330 (81%)	38.506 (76%)	55.012 (81%)
Congelado	2.660 (17%)	4.529 (21%)	3.208 (12%)	4.998 (12%)	9.921 (19%)	9.370 (14%)
Jugo	810 (5%)	1.328 (6%)	2.136 (8%)	2.840 (7%)	1.664 (3%)	2.536 (4%)
Deshidratado	7 (<1%)	546 (3%)	0	98 (<1%)	106 (<1%)	206 (<1%)
Conserva	0	0	3 (<1%)	0	46 (<1%)	19 (<1%)
Consumo local						
Fresco	0	0	50 (<1%)	90 (<1%)	250 (<1%)	385 (<1%)
Congelado	0	0	0	150 (<1%)	400 (<1%)	615 (<1%)
TOTAL	15.415	21.836	26.369	43.506	50.893	68.143

Valores entre paréntesis corresponden al porcentaje de participación de cada tipo de producto en el total producido para cada año en específico (aproximados a la unidad).

FUENTE: Adaptado de DOMINGUEZ (2011).

Así mismo, la valoración de las exportaciones también ha aumentado. La Figura 3 muestra la evolución de las exportaciones en miles de dólares (FOB), las que han aumentado en promedio un 25% anual.

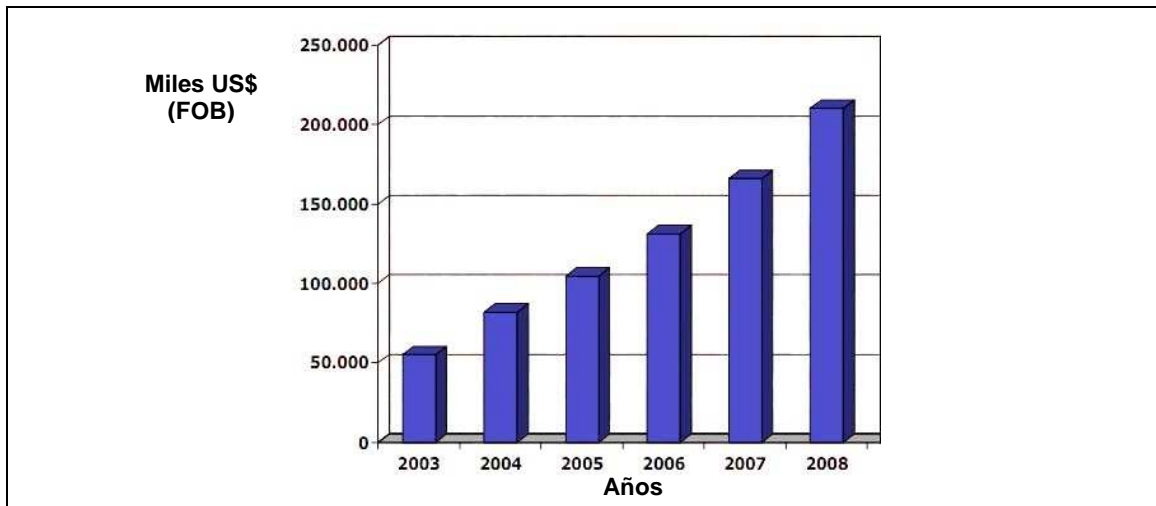


FIGURA 3 Evolución de las exportaciones, en miles de dólares (FOB).

FUENTE: Adaptado de KONG (2009).

2.3.4 Evolución de los precios. Según datos de CHILE, OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA) (2008), citado por KONG (2009), los precios FOB (US\$/kg) presentaron una disminución en los últimos años, la cual ha llegado a un 50% desde el *peak* (Figura 4). Para la temporada 2010/2011, específicamente la sexta semana del año 2011, el precio a productor alcanzó los 2,5 US\$/kg (ODEPA, 2011).

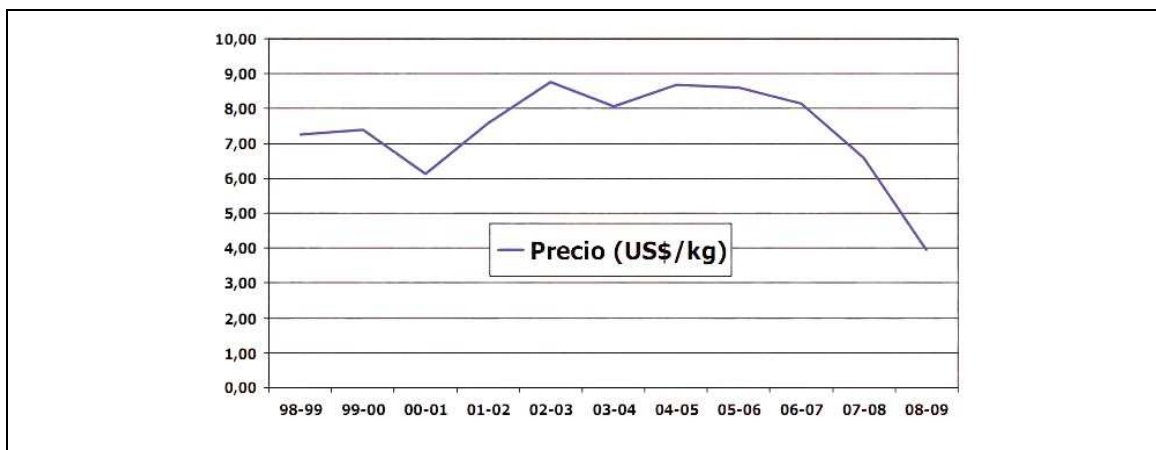


FIGURA 4 Evolución de los precios FOB (US\$) por caja de arándanos.

FUENTE: ODEPA (2008), citado por KONG (2009).

2.4 El cultivo del arándano en los suelos volcánicos del sur de Chile

De acuerdo a los datos presentados en el Cuadro 3, la mayor superficie cultivada con arándanos abarca la zona centro-sur y sur del país, la cual coincide con áreas de distribución de los suelos volcánicos, los cuales aparecen en la Región del Maule y aumentan en extensión y frecuencia hacia el sur del país (TOSSO, 1985).

Los suelos de origen volcánico se ubican en la precordillera de los Andes entre Curicó y Los Ángeles, extendiéndose hacia la cordillera de los Andes entre esta última ciudad y Chile Chico. Los suelos que se encuentran en la precordillera de los Andes hasta Los Ángeles y hacia el sur de Temuco se conocen como Trumaos. (Luzio y Alcayaga, 1992, citados por IBÁÑEZ, 2008).

2.4.1 Caracterización de los suelos volcánicos. Son originados a partir de materiales piroclásticos y contienen una alta proporción de minerales muy afines por las moléculas de agua. Entre sus propiedades destacan el alto contenido de materia orgánica que poseen, su alta porosidad (60 – 80%), su baja densidad aparente (menor a $0,9 \text{ kg m}^{-3}$, según SANTIAGO, UNIVERSIDAD DE CHILE, (2002)), gran capacidad de retención de agua y formación de microagregados estables. Estas características se deben al alto contenido de oxihidróxidos de hierro y a la estructura alófana de sus arcillas (REGALADO *et al.*, 2001).

Estos suelos están constituidos mayoritariamente por Andisoles y minoritariamente por Ultisoles, conocidos como “trumaos” y “rojo arcillosos”, respectivamente. En menor proporción existen suelos volcánicos que pertenecen a los órdenes Inceptisoles, Entisoles y Alfisoles (Mella y Kühne, 1985, citados por SADZAWKA *et al.*, 2006a).

Los suelos trumaos, clasificados como typic Hapludans (antiguamente typic Dystrandeps), derivan de cenizas volcánicas de tipo andesítico-basáltico, depositadas sobre sustratos como *outwash*, morrenas, suelos rojo arcillosos, canchagua, complejo metamórfico de la costa y toba volcánica, entre otros. Se presentan tanto en terrenos planos como en escarpados, pero predominantemente en lomajes ligeros a moderadamente ondulados. En su mayoría presentan horizontes superficiales color pardo muy oscuro, pardo oscuro y pardo grisáceo muy oscuro. En los subsuelos el color es pardo amarillento y rojo amarillento. En su superficie presentan textura franca

a franco arcillosa, la cual se hace más fina en profundidad. La agregación en los horizontes superiores puede ser subangular o granular, media y moderada o fuerte. Generalmente son friables, suaves, ligeramente plásticos y adhesivos en todo el perfil. Su velocidad de infiltración es moderadamente rápida a muy rápida y presentan una muy alta capacidad de retención de humedad. La densidad aparente es extremadamente baja, con un promedio de $0,60 \text{ g cm}^{-3}$, con un intervalo general de $0,53$ a $0,77 \text{ g cm}^{-3}$.

En relación a las características químicas, predominan en ellos los pH fuertemente ácidos (5,6 a 6,0 según Sadzawka y Porte, 1985, y Besoain, 1999, citados por SADZAWKA *et al.*, 2006a), poseen una capacidad de fijación de fósforo extremadamente alta, sus niveles de materia orgánica total y oxidable son muy altos, disminuyendo mucho en profundidad. Sus niveles de nitrógeno disponible son medios a bajos. La capacidad de intercambio de cationes y aniones es alta en todo el perfil. El contenido de aluminio y fierro de intercambio es alto en la superficie y aumentan considerablemente en profundidad. Poseen un alto poder *buffer* y se caracterizan por tener necesidades de cal muy altas. En general, no se encuentran deficiencias de elementos menores.

Con respecto a las características mineralógicas, la más relevante en los suelos trumaos es la presencia de alofán, arcilla amorfa que predomina en el complejo coloidal inorgánico y que le atribuye a estos suelos propiedades químicas y físicas bien específicas (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES (IREN) y UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, 1978).

Los suelos rojo arcillosos son clasificados en el orden Ultisol, se consideran más antiguos, profundos, arcillosos, de pH fuertemente ácido, encontrándose en rangos de 5,1 a 5,5, y de difícil laboreo. Debido a que poseen coloides orgánicos, presentan carga variable alta, principalmente en los horizontes superficiales. En sus arcillas predomina la haloisita-0,7 mm (Besoain, 1985, y Luzio *et al.*, 2003, citados por SADZAWKA *et al.*, 2006a).

En el Cuadro 5 se presentan características físicas y químicas de algunos suelos volcánicos.

CUADRO 5 Características químicas y físicas de algunos suelos volcánicos del sur de Chile.

		Osorno	Puyehue	Puerto Fonck
Materia orgánica	(g 100 g ⁻¹)	20,0	24,5	16,4
pH H ₂ O (1:2,5)		5,6	4,5	5,1
Al extractable	(mg kg ⁻¹)	1.417	2.678	820
Cationes intercambiables				
Calcio	(cmol _c kg ⁻¹)	4,03	2,56	2,69
Magnesio	(cmol _c kg ⁻¹)	1,20	0,60	0,45
Potasio	(cmol _c kg ⁻¹)	0,27	0,30	0,18
Suma de bases	(cmol _c kg ⁻¹)	5,60	3,57	3,47
Aluminio	(cmol _c kg ⁻¹)	0,30	1,83	0,18
CICE	(cmol _c kg ⁻¹)	5,90	5,40	3,65
Saturación de Al	(g 100 g ⁻¹)	5,09	33,92	4,94
Cobre extraíble inicial (DTPA)				
Cobre	(mg kg ⁻¹)	0,9	1,3	1,4
Textura (g 100 g ⁻¹)				
Partículas (%)	(2000 a 63 μm)	18,9	53,8	35,7
	(63 a 2 μm)	59,0	34,5	47,3
	(< 2 μm)	22,1	11,7	17,0

FUENTE: Adaptado de CABEZA *et al.* (2005).

2.4.2 Tecnologías de producción del cultivo. El cultivo del arándano es guiado por tecnologías generadas en Estados Unidos, incorporándose manejo y maquinarias desarrolladas y utilizadas en ese país para las diversas labores específicas del cultivo (ROSAS, 2001). Las prácticas de manejo del suelo más comunes en plantaciones comerciales de Estados Unidos comprenden el uso de aserrín de pino como enmienda

y como *mulch*, y la acidificación artificial de estos a través del uso de azufre o ácido sulfúrico (KREWER y RUTER, 2012).

2.4.3 Problemas productivos y nutricionales. La escasa adaptación de estas tecnologías que guían el manejo del arándano en el sur de Chile ha generado problemas productivos y nutricionales, presentándose deficiencias de nitrógeno, fósforo y cobre, en un 60, 38 y 70% de los casos, respectivamente, y un exceso de aluminio en un 44% de ellos. Esto ha generado importantes pérdidas económicas debido a la disminución de los rendimientos. A esto se suman problemas de calidad de frutos asociados a factores desconocidos, impactando negativamente los precios¹.

Los niveles de cobre foliar encontrados en huertos del sur de Chile indican que el 70% de ellos se encuentran en un nivel bajo o menor al normal (concentración foliar menor a 5 ppm), 28% en un nivel normal (nivel de cobre foliar entre 5 – 20 ppm) y 2% en un nivel sobre normal (concentración foliar mayor a 20 ppm)².

Entre las causas de estos problemas se encuentra el uso de estándares nutricionales no calibrados para la zona sur del país, el uso de aserrín de pino como *mulch* y enmienda (junto con su efecto desconocido sobre el suministro de nitrógeno en el suelo) y la excesiva acidificación del suelo, que trae como consecuencia el aumento de la disponibilidad de aluminio, con efectos no cuantificados sobre el rendimiento y la calidad de los frutos. Además, la aplicación de nutrientes se realiza exclusivamente a través del sistema de riego, lo cual dificulta la fertilización nitrogenada a inicios de la temporada de cultivo, cuando aún las precipitaciones son altas. A esto se suma la falta de información científica local acerca de la demanda y suministro en el suelo de nutrientes³

2.5 La importancia del cobre y su disponibilidad

El cobre es un micronutriente catión absorbido por las plantas como Cu^{2+} y también como componente de complejos orgánicos naturales o sintéticos. Su concentración

¹ MAC DONALD, R. (2008). Ing. Agr., M. Sc. y PINOCHET, D. (2008). Ing. Agr., M. Sc., Ph. D. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Universidad Austral de Chile. Proyecto FIA-UACH PYT-2009-0080. Comunicación personal.

² MAC DONALD, R. (2008). Ing. Agr., M. Sc. y PINOCHET, D. (2008). Ing. Agr., M. Sc., Ph. D. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Universidad Austral de Chile. Proyecto FIA-UACH PYT-2009-0080. Comunicación personal.

³ PINOCHET, D. (2008). Ing. Agr., M. Sc., Ph. D. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Universidad Austral de Chile. Proyecto FIA-UACH PYT-2009-0080. Comunicación personal.

normal en la planta varía de 5 – 20 ppm, presentándose deficiencia cuando sus niveles están bajo los 4 ppm en la materia seca (HAVLIN *et al.*, 1999).

Forma quelatos altamente estables que permiten la transferencia de electrones, razón por la cual desempeña un papel en los procesos redox de la fisiología de las plantas. En este aspecto el Cu es parecido al Fe, sin embargo, las enzimas que contienen Cu pueden reaccionar con el oxígeno molecular y así catalizar preferentemente procesos terminales de oxidación (KIRKBY y RÖMHELD, 2007).

El cobre es el componente metálico de tres diferentes formas de proteínas: proteínas azules sin actividad oxidasa (como la plastocianina, componente de la cadena de transporte de electrones del fotosistema I); proteínas no azules, peroxidasas que oxidan monofenoles a difenoles; y proteínas multicobre, que actúan como oxidasas (como ascorbato oxidasa, difenol oxidasa y citocromo oxidasa) (Sandmann y Böger, 1983, citados por MARSCHNER, 1995).

Bajo deficiencia de cobre, existe una estrecha relación entre la concentración foliar de este nutriente y el contenido de plastocianina, y por lo tanto, con la actividad del fotosistema I (MARSCHNER, 1995). Como consecuencia, disminuye la tasa de fijación de CO₂, reduciéndose también el contenido de almidón y de carbohidratos solubles (especialmente sacarosa). Es por esta razón que plantas con deficiencia de cobre reducen la producción de materia seca durante el crecimiento vegetativo (KIRKBY y RÖMHELD, 2007).

Las enzimas superóxido dismutasa (SOD) cumplen un papel en la desintoxicación de radicales superóxido, los cuales a través de varios mecanismos pueden causar severos daños a las células (Cakmak, 2000, citado por KIRKBY y RÖMHELD, 2007). El cobre de la enzima Cu-Zn-SOD, localizada en los estromas de los cloroplastos, está involucrado directamente en la desintoxicación del O₂ generado en el proceso de la fotosíntesis (KIRKBY y RÖMHELD, 2007).

El papel que cumple el cobre en el metabolismo secundario es el factor que provoca los síntomas de deficiencia, ya que las enzimas que lo contienen: polifenol oxidasa, ascorbato oxidasa y diamino oxidasa aparecen en las paredes celulares y cumplen una importante función en la biosíntesis de fenol a sustancias melanóticas y a lignina. Esta función permite incrementar la resistencia de las plantas a enfermedades, pues la

lignina actúa como una barrera mecánica ante la entrada de organismos, y la producción de sustancias melanóticas, como las fitoalexinas, aumentan la resistencia al inhibir la germinación de esporas y el crecimiento de hongos (KIRKBY y RÖMHELD, 2007).

Es importante señalar que la deficiencia de cobre afecta al crecimiento reproductivo, mucho más que al vegetativo (formación de granos, semillas y frutos), pues afecta la viabilidad del polen (Agarwala *et al.*, 1980, citados por KIRKBY y RÖMHELD, 2007).

Los síntomas de deficiencia de cobre varían de acuerdo al cultivo, pero en muchos de ellos las hojas pierden turgencia, desarrollan un tono verde azulado, se vuelven cloróticas y enroscadas y no se producen flores (HAVLIN *et al.*, 1999).

Según HART *et al.* (2006), la deficiencia de cobre causa amarillamiento entre las venas de las hojas jóvenes, y en casos muy severos puede ocasionar la muerte progresiva de los brotes jóvenes. La deficiencia puede ser más severa en suelos con más de un 25% de materia orgánica.

3 MATERIAL Y METODO

3.1 Materiales

A continuación se describen los materiales utilizados en la investigación.

3.1.1 Ubicación de los ensayos. Se establecieron ensayos en ocho cuartes en cuatro huertos, situados en una misma macroregión, la Región de Los Ríos: dos de los huertos se encuentran en la comuna de La Unión (sectores Rapaco y La Unión) y los otros dos en la comuna de San José de la Mariquina (sectores San José de la Mariquina y Pelchuquín), en suelos trumaos de la depresión intermedia (Cuadro 6).

CUADRO 6 Ubicación e identificación de los sitios en estudio.

Sectores	N° de Huerto	Cuartel	Serie de suelo
San José de la Mariquina	1	A y B	Pelchuquín
Pelchuquín	2	C	Pelchuquín
Rapaco	3	D, E y F	La Unión
La Unión	4	G y H	Río Bueno

3.1.2 Características edáficas de los sitios. Se escogieron suelos con distintos niveles de disponibilidad de cobre, a través de un muestreo previo de suelos, desde 0,6 a 2,5 ppm, medidos desde el camellón a la entre hilera (análisis de suelo se presentan en el Anexo 1). Los ensayos se llevaron a cabo en las series de suelo Pelchuquín, La Unión y Río Bueno. En el Cuadro 7 se presentan características edáficas de cada una de ellas.

Los suelos de la serie Pelchuquín son bien estructurados, sueltos, friables, y presentan buen arraigamiento hasta los 90 cm, a mayor profundidad las raíces se hacen escasas.

El buen equilibrio en la distribución de los poros capilares y no capilares útiles que poseen estos suelos, les confiere una buena aireación y una alta capacidad de retención de agua, la que disminuye mucho bajo los 30 cm. Además, son fuertemente ácidos en superficie y se hacen ligeramente ácidos en profundidad, presentan bajos contenidos de niveles nutritivos, principalmente de fósforo, los que disminuyen considerablemente en profundidad (IREN y UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, 1978).

CUADRO 7 Características físicas de las series de suelo.

Característica	Serie Pelchuquín	Serie La Unión	Serie Río Bueno
Topografía	Casi plana, con pendientes complejas de 1 a 3%	Pendientes complejas ligera a moderadamente onduladas, de 3 a 8% y de 15 a 30%	Plana a casi plana, con pendientes de 1 a 3%
Profundidad	Profundos a moderadamente profundos	Profundos	Profundidad moderada
Textura	Media a moderadamente fina hasta los 70 cm y fina en profundidad	Moderadamente fina en superficie a fina en profundidad	Moderadamente fina en superficie y fina en profundidad
Estructura	- Superficie: granular. - Hasta los 90 cm: subangular. - Profundidad: masiva	Bloques subangulares en todo el perfil	s.i
Infiltración	17,5 cm h ⁻¹	Baja	s.i

s.i: sin información.

FUENTE: IREN y UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE (1978).

Los suelos pertenecientes a la serie La Unión poseen buen arraigamiento hasta los 65 cm y regular en profundidad. Se encuentran en una condición de acidez que varía entre fuerte a moderadamente ácidos en todo el perfil, y poseen un contenido medio de materia orgánica en superficie. Poseen niveles medios de capacidad de intercambio catiónico y bases de intercambio. Además, presentan niveles medios de aluminio y hierro, una alta capacidad de fijación de fósforo y niveles extremadamente deficientes de fósforo aprovechable y nitrógeno (IREN y UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, 1978).

Los suelos de la serie Rio Bueno son sueltos y friables, presentan buen arraigamiento hasta los 47 cm, raíces escasas hasta los 68 cm y sin presencia de raíces en profundidad (IREN y UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, 1978).

3.1.3 Clima. Los sectores de San José de la Mariquina y Pelchuquín presentan un clima marino, el cual se caracteriza por presentar, en general, un verano fresco, inviernos relativamente suaves y un régimen hídrico húmedo. Los sectores de Rapaco y La Unión presentan un clima denominado mediterráneo frío, el cual se caracteriza por poseer inviernos más rigurosos, con muchas heladas, y por presentar la estación húmeda entre los meses de abril a noviembre (NOVOA *et al.*, 1989).

CUADRO 8 Datos climáticos de las comunas donde se ubican los ensayos.

Ítem	San José de la Mariquina*		La Unión**	
	Anual	Durante desarrollo fruto	Anual	Durante desarrollo fruto
Temperatura media (°C)	11,7	14,1	8,4	13,9
Temperatura mínima (°C)	6,5	8,2	6,3	7,9
Temperatura máxima (°C)	17,0	20,0	17,1	20,0
Precipitación (mm)	1.851,6	265,7	1.198,6	247

FUENTE: *CHILE, DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE (2011). Datos incompletos, ya que en la información entregada faltaron algunos antecedentes.

**COOPERATIVA AGRÍCOLA Y LECHERA DE LA UNIÓN LTDA (COLUN) (2012).

En el Cuadro 8 se presentan antecedentes climáticos de las comunas de San José de la Mariquina y La Unión, los cuales corresponden a temperaturas y precipitaciones promedio anuales (calculados para el periodo 2000 - 2011), y a temperaturas promedio y precipitación total del periodo comprendido durante cuaja de frutos y final de la cosecha, específicamente desde diciembre de 2009 hasta abril de 2010. Los antecedentes correspondientes a la comuna de La Unión fueron registrados por una estación meteorológica de la Cooperativa Agrícola y Lechera de La Unión Ltda. (COLUN)⁴, y los de San José de la Mariquina corresponden a datos presentados por CHILE, DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE (2011), de su Estación Meteorológica Pichoy (Valdivia).

3.1.4 Variedades de arándano. Se utilizaron las variedades Brigitta (semitardía) y Elliot (tardía), en dos edades productivas; rendimientos crecientes (4 – 7 años) y plena producción (> 7 años) (Cuadro 9).

CUADRO 9 Variedades presentes en los cuarteles en estudio y sus edades productivas.

Cuartel	Variedad	Año plantación	Edad productiva (n° de años)
A	Elliot	2002	Plena producción (8)
B	Brigitta	2002	Plena producción (8)
C	Brigitta	2005	Rendimientos crecientes (5)
D	Brigitta	2004	Rendimientos crecientes (6)
E	Elliot	2004	Rendimientos crecientes (6)
F	Elliot	2004	Rendimientos crecientes (6)
G	Elliot	2002	Plena producción (8)
H	Elliot	1991	Plena producción (19)

⁴ USLAR, D. (2012). Ing. Agr. MBA. Jefe División Agropecuaria. Cooperativa Agrícola y Lechera de La Unión Ltda. (COLUN). Datos meteorológicos La Unión. Correo personal. <duslar@colun.cl>. Comunicación personal.

Los frutos de la variedad Brigitta se caracterizan por ser firmes y aptos para una larga guarda. Elliot es una variedad de alta producción que presenta frutos de muy buen color, cicatriz y firmeza (SERRI, 2009).

3.2 Métodos

A continuación se describe la metodología empleada en el establecimiento de los ensayos, toma de muestras y su procesamiento.

3.2.1 Distribución de los ensayos. Para determinar el nivel crítico de cobre en el suelo, se midió el cobre extractable de 16 sitios, estableciéndose que cada uno de ellos representara un nivel de cobre. Es decir, se determinaron 16 niveles de cobre en los ocho cuarteles estudiados, dos por cada cuartel. En cada sitio hubo tres repeticiones, las cuales se distribuyeron en las hileras del área de ensayo en forma aleatoria. Cada repetición consistió en 10 plantas consecutivas sobre una hilera, separándose de las otras repeticiones ubicadas en la misma hilera por tres plantas, y aisladas del huerto por una hilera a cada lado del área de ensayo y por tres plantas sobre la hilera para aislar las repeticiones del resto de plantas que estaban en la misma hilera del área de ensayo. La superficie total aislada por cuartel, incluyendo las plantas de aislamiento, fue de 351 m², considerando un marco de plantación de 3 X 1 (Figura 5).

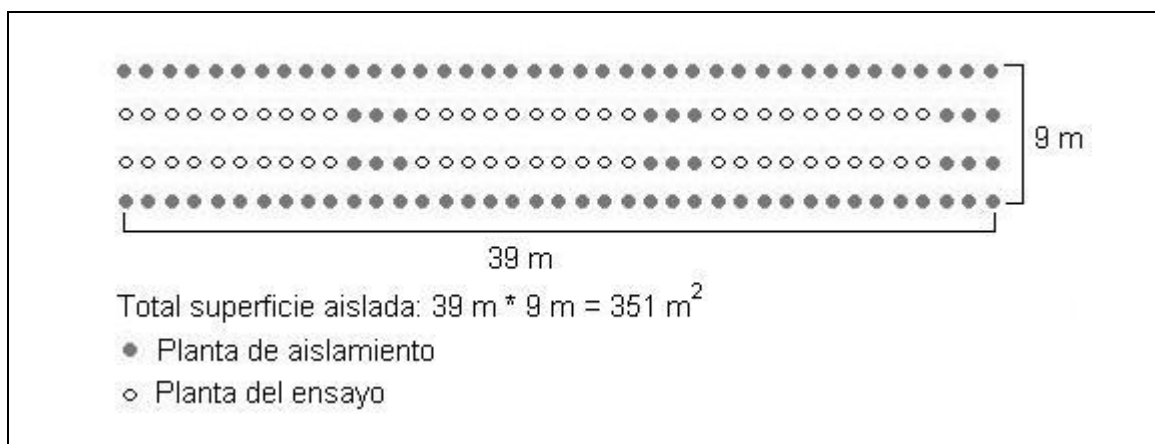


FIGURA 5 Superficie aislada de los dos sitios estudiados por cada cuartel.

Se destinaron estas plantas de aislamiento, que rodearon las repeticiones, para impedir que posibles derivas de productos fertilizantes aplicados de manera foliar llegaran a ellas, así como también para impedir que a través del fertirriego se

realizaran aportes adicionales de nutrientes. Este bloqueo en la aplicación de fertilizantes a través del sistema de fertirriego se realizó mediante válvulas que interrumpían el flujo de agua con fertilizantes al área de ensayo (Figura 6).



FIGURA 6 Bloqueo de la aplicación de fertilizantes en el área de ensayo.

Como en cada cuartel se estudiaron dos sitios, las repeticiones del sitio 1 se denominaron 1, 2 y 3, y las del sitio 2 se denominaron 4, 5 y 6, por lo tanto, se dispusieron seis repeticiones por cada cuartel.

3.2.2 Manejo de la fertilidad del suelo. Para que los sitios estudiados tuvieran sólo el nivel de cobre como factor limitante (y no los otros nutrientes esenciales ni el aluminio disponible), se realizaron fertilizaciones de corrección, de manera que todos los sitios tuvieran el mismo nivel de nutrientes y de aluminio intercambiable.

Los niveles a alcanzar con la fertilización de corrección se diseñaron en base a niveles propuestos para otros frutales, los cuales fueron los siguientes: 30 ppm de P Olsen, 200 ppm de K intercambiable, 25 ppm de S extractable, 2,5 cmol_c de Ca kg⁻¹, 1 cmol_c de Mg kg⁻¹, 0,1 cmol_c de Al intercambiable kg⁻¹, 2,5 ppm de Fe extractable y 1 ppm para el resto de micronutrientes⁵.

La fertilización de corrección se realizó mediante la aplicación en cobertera de tres mezclas (M1, M2 y M3), las cuales estaban compuestas por diferentes productos factibles de mezclar o compatibles. La cantidad de elementos aplicados dependió del

⁵ PINOCHET, D. (2009). Ing. Agr., M. Sc., Ph. D. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Universidad Austral de Chile. Proyecto FIA-UACH PYT-2009-0080. Comunicación personal.

nivel inicial de estos en cada uno de los suelos del estudio, de manera que alcanzaran los niveles propuestos.

La mezcla “M1” estaba compuesta por superfosfato triple, cloruro de potasio y sulfato de magnesio; la mezcla “M2” por carbonato de calcio y yeso y la mezcla “M3” por ácido bórico y sulfato de zinc.

3.2.3 Toma de muestras y registro de datos en terreno. Se registró el rendimiento de las repeticiones y se recogieron muestras foliares, de frutos y de suelo.

3.2.3.1 Muestreo de hojas. Se muestrearon 100 hojas por repetición (10 hojas por cada planta), en el tercio medio de brotes del año, en seis fechas a partir de diciembre de 2009 y hasta abril de 2010 (15 de diciembre, 5 de enero, 25 de enero, 15 de febrero, 9 de marzo y 13 de abril). Es importante señalar que se realizaron muestreos foliares a la mitad de las repeticiones, y en el sexto muestreo se muestrearon todas.

3.2.3.2 Cosecha. Se cosecharon todos los frutos obtenidos en la temporada, tanto los de la categoría exportable como los IQF (descarte), y se consideraron ambas categorías para la determinación del rendimiento. Se pesaron los frutos de cada repetición de forma independiente, registrando los pesos en planillas. El rendimiento total obtenido en cada una de las repeticiones se presenta en el Anexo 2.

3.2.3.3 Muestreo de frutos. En el periodo de máxima producción se recogieron tres muestras por cada repetición: M0, M20 y M40, denominadas de acuerdo al momento en que se deberían analizar; a los 0, 20 y 40 días de poscosecha, respectivamente. Cada una de las muestras estaba compuesta por un promedio de 101 frutos de la categoría exportable (peso incluido en el registro del rendimiento). Inmediatamente después de la cosecha se depositaron en un recipiente para control de temperatura hasta su traslado al laboratorio.

3.2.3.4 Muestreo de suelo. Entre fines de marzo y principios de abril (luego del término de la temporada de cosecha), se tomó una muestra de suelo a cada una de las repeticiones del estudio, la cual estaba compuesta por 10 submuestras, las que se tomaron sobre el camellón con un barreno a 20 cm de profundidad. Se colectaron las submuestras a 0 cm de la planta (entre las plantas) y a 20 y 40 cm de distancia de la base del tallo, por ambos lados del camellón y a lo largo de toda la hilera de la repetición.

3.2.4 Procesamiento y análisis de las muestras. Los procedimientos y análisis aplicados a las diferentes muestras recolectadas se realizaron en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile.

3.2.4.1 Suelo. Se determinó la concentración de cobre del suelo en ppm de Cu extractable (Cu^{+2}), a través de la metodología descrita por SADZAWKA *et al.* (2006b), la cual se obtuvo a partir de una mezcla compuesta por las muestras de suelo de las tres repeticiones correspondientes a cada sitio. Los niveles determinados se presentan en el Anexo 3.

3.2.4.2 Hojas. Se determinó la concentración de Cu foliar mediante espectrofotometría de absorción y emisión atómica (EAA) con llama de aire-acetileno por aspiración directa, metodología descrita por SADZAWKA *et al.* (2007). Las concentraciones foliares obtenidas se presentan en el Anexo 4.

3.2.4.3 Frutos. Las condiciones de almacenamiento y los análisis de calidad realizados para la evaluación de los parámetros de calidad de frutos se describen a continuación.

3.2.4.3.1 Almacenamiento de las muestras. Las muestras destinadas al análisis inmediato, M0, se dejaron en el laboratorio a temperatura ambiente, de manera que su temperatura disminuyera a 15°C (medida con termómetro portátil con sonda, modelo C22 marca COMARK), siendo analizadas al día siguiente. Las muestras destinadas al análisis posterior, M20 y M40, se guardaron inmediatamente en cámara de frío (de 8 m³, con las mismas dimensiones de alto, ancho y largo, fabricada por FRIOMASTER), a 0°C y 95% de humedad relativa, para simular las condiciones de transporte de arándanos de exportación, hasta ser retiradas a los 20 y 40 días posteriores a la cosecha (M20 y M40, respectivamente). Posteriormente, se mantuvieron a temperatura ambiente hasta que alcanzaran los 15°C (temperatura medida con el mismo termómetro utilizado en las muestras M0), momento en el cual se comenzaron a realizar los análisis respectivos.

3.2.4.3.2 Análisis de calidad. Los parámetros de calidad evaluados y sus correspondientes análisis se presentan a continuación. Calibre y peso de los frutos se evaluaron sólo a la cosecha (0 días poscosecha), en tanto que tipo de fruto, firmeza y razón entre sólidos solubles y acidez titulable se midieron a los 0, 20 y 40 días de

poscosecha (Anexo 5). Las metodologías descritas a continuación corresponden al análisis realizado a cada una de las repeticiones.

- **Calibre:** Se registró el número total de frutos y con un pie de metro digital, de 0 – 200 mm (marca CALIPER), se midió el calibre de cada uno de ellos, agrupándolos en rangos; < 10 mm, 10 – 15 mm, 15 – 20 mm, 20 – 25 mm y > 25 mm. Por lo tanto, se obtuvo una frecuencia de frutos que se encontraban en cada categoría de calibre, frecuencia que para los análisis estadísticos se transformó en frecuencia relativa y posteriormente a porcentaje. También se registró cuál fue el calibre modal en cada una de las repeticiones.
- **Peso:** Se registró el peso de los frutos obtenidos en cada rango de calibre, de manera separada, con una balanza digital de alta sensibilidad (MII – 6000 marca UWE), y se dividió por el número de frutos presentes en cada uno de los rangos de calibre, obteniéndose el peso individual promedio de los frutos de acuerdo a su calibre. Además, se registró el peso individual de cinco frutos pertenecientes al calibre modal, para cada una de las repeticiones, obteniéndose un peso individual promedio de los frutos del calibre modal.
- **Tipo de fruto:** A través de un análisis manual y visual se categorizaron los frutos del calibre modal en cinco grupos: firme, blando, deshidratado, machucado, con pudrición y otros (frutos no maduros, con daño mecánico, como el causado por granizo, entre otros). Se obtuvo una frecuencia de frutos en cada una de las categorías. Posteriormente esta frecuencia se transformó en frecuencia relativa y luego en porcentaje, para determinar el aspecto de los frutos en cada una de las repeticiones y hacerlas comparables.
- **Firmeza:** Se midió la firmeza de 10 frutos de la categoría fruto firme (determinados en el análisis “tipo de fruto”), con un medidor de firmeza para frutas pequeñas, marca Durofel DFT 100, en distintas caras de los frutos, en lados opuestos de la línea ecuatorial. El instrumento entregó automáticamente un promedio de 10 mediciones, la cual se expresaba en grados Durofel, que representan la presión ejercida en kg cm^{-2} , y el coeficiente de variación.
- **Razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable.** Se midió la concentración de sólidos solubles de una muestra de jugo de 60 frutos con un refractómetro

digital (modelo Pal – 1, 0,0 – 53,0%, marca ATAGO), el cual entregó los resultados en °Brix. Para la medición de acidez titulable se usó un pH-metro de mesón, se tomó una muestra de 5 ml del jugo con una pipeta y se depositó en un vaso precipitado de 100 ml, se agregó agua destilada en el vaso hasta completar 40 ml de solución jugo-agua y se agitó. Luego, se insertó el electrodo del pH-metro y se tituló con NaOH 0,1 N, anotándose el gasto hasta alcanzar un pH de 8,2 en la solución.

Para el cálculo del porcentaje de ácido cítrico se utilizó la fórmula 1.

$$\text{Ácido cítrico (\%)} = \frac{\text{Gasto} * 0,1 * 0,064 * 100}{5} \quad 3 (1)$$

Con estos datos se calculó la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable:

$$\text{Razón sólidos solubles : acidez titulable} = \frac{\% \text{ sólidos solubles (°Brix)}}{\% \text{ de ácido cítrico}} \quad 3 (2)$$

3.2.5 Análisis de datos. A continuación se presentan los métodos utilizados para determinar el nivel crítico de cobre en el suelo, la variación de cobre en el tejido foliar en el tiempo y su concentración crítica, y el efecto de cobre en el suelo sobre los parámetros de calidad de frutos. Todos los análisis estadísticos y ajuste de curvas se realizaron con el software GraphPad Prism, versión 5.01.

3.2.5.1 Nivel crítico de cobre en el suelo. Se relacionó cada nivel de cobre en el suelo con el rendimiento obtenido de las tres repeticiones dispuestas en cada sitio, esperándose que la relación entre estas variables fuera similar a la descrita por BERNIER (1999), quien indica que a partir de un nivel crítico de nutriente en el suelo su rendimiento no varía, y que bajo ese nivel el rendimiento sí se afecta, presentando una relación directa positiva con la disponibilidad del nutriente en el suelo. En el análisis de la relación entre el nivel de cobre en el suelo y el rendimiento, se destacó la variedad a la que pertenecían los ensayos. Luego, utilizando los valores del nivel de cobre en el suelo y el promedio de rendimiento (calculado con el rendimiento de las tres repeticiones correspondientes a cada sitio), se obtuvo un buen ajuste de regresión con la función sigmoidea tipo Boltzmann, siendo la que mejor se ajustaba al fenómeno

observado. Luego, al valor más alto de rendimiento entregado por la regresión se restó el error estándar de la ecuación, de esta manera, se obtuvo el nivel crítico de cobre en el suelo.

Los sitios que presentaron niveles de cobre inferiores al nivel crítico determinado se denominaron “deficientes”, y los que contenían niveles superiores a este nivel crítico se denominaron “suficientes”.

Se evaluó si hubo disminución en el rendimiento en los ensayos con niveles de cobre inferiores al nivel crítico en las variedades por separado y en conjunto, mediante un análisis de comparación entre el nivel de cobre en el suelo y el rendimiento promedio de cada sitio.

3.2.5.2 Momento óptimo de muestreo foliar y concentración crítica en el tejido. Se determinó la concentración promedio de cobre en el tejido foliar de los sitios “deficientes” y de los “suficientes”, en forma separada, en cada una de las fechas establecidas. Este análisis se realizó para cada una de las variedades en particular, utilizando dos niveles deficientes y dos suficientes para el análisis de la variedad Elliot, y un nivel deficiente y dos suficientes para el análisis de la variedad Brigitta (se utilizó un nivel menos en esta variedad ya que presenta pocos ensayos relacionados, existiendo sólo un nivel deficiente). De esta manera, se determinó en qué fecha se presenta la mayor diferencia en la concentración de cobre foliar entre sitios con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo. Para comprobar si en los sitios con niveles deficientes de cobre en el suelo, y en los sitios con niveles suficientes, las variaciones en la concentración de cobre en el tejido foliar fueron estadísticamente significativas se realizaron pruebas estadísticas: ANDEVA en Brigitta y de t-student en Elliot, a través de las cuales se determinó si hubo diferencia entre las medias de las concentraciones foliares encontradas en los momentos de mayor diferencia de estas concentraciones.

Se estableció la correlación entre los niveles de cobre en el suelo y la concentración de cobre en el tejido foliar, en las fechas en que se presentó la mayor diferencia en el contenido de cobre foliar entre los ensayos deficientes y suficientes. Esta correlación se realizó excluyendo aquellas repeticiones cuya concentración foliar presentó un comportamiento errático de acuerdo a los valores esperados, los cuales debieron

indicar una mayor concentración de cobre en el tejido foliar a medida que fue mayor el nivel de cobre en el suelo. Los niveles de cobre en el suelo y sus respectivas concentraciones foliares en cada una de las fechas de muestreo se presentan en el Anexo 6 (sin considerar las repeticiones que presentaron comportamiento errático).

Mediante una regresión lineal entre los parámetros correlacionados (nivel de cobre en el suelo y en el tejido foliar) se determinó la concentración foliar crítica, reemplazando en la ecuación obtenida el valor de "X" por el nivel crítico de cobre en el suelo propuesto. Al resolver la ecuación obtenida de la regresión se determinó el valor de "Y", es decir, el nivel crítico de cobre en el tejido foliar, en cada una de las fechas en que se presentó la mayor diferencia de cobre foliar.

El nivel crítico foliar "Y" permite establecer, al igual que el nivel crítico en el suelo, si el cultivo se encuentra en un nivel de deficiencia, en que el rendimiento obtenido sea menor al rendimiento potencial del cultivo en la unidad edafoclimática en la cual está establecido, o bien, si se encuentra en un nivel de suficiencia, en el cual el rendimiento no varía a medida que es mayor el nivel del nutriente en el tejido. Esto, según lo descrito HAVLIN, *et al.* (1999), quien explica el rendimiento de un cultivo en función de la concentración de un nutriente en el tejido foliar.

Luego, se evaluó si el nivel crítico foliar propuesto en cada una de las fechas correspondientes permite diferenciar niveles de deficiencia o suficiencia de cobre en el suelo, a través de la comparación entre el nivel foliar propuesto y la concentración de cobre foliar obtenida en los sitios con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo; si la concentración foliar de los ensayos suficientes fue mayor al nivel crítico foliar propuesto, y la concentración de los ensayos deficientes fue menor a este nivel crítico foliar, entonces el nivel crítico foliar propuesto permitiría determinar niveles de deficiencia o suficiencia de cobre en el suelo.

3.2.5.3 Evaluación de los parámetros de calidad de fruto. Se determinó si existía un efecto de la deficiencia o suficiencia de cobre en el suelo sobre los parámetros de calidad de frutos, mediante la comparación de los resultados entre niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo. Este análisis se realizó comparando los resultados de dos niveles deficientes y dos suficientes. Esto, dado que fue mayor el número de evaluaciones con niveles suficientes de cobre en el suelo, en comparación con los

niveles deficientes. De esta manera, al analizar dos niveles por cada categoría de disponibilidad (dos niveles deficientes y dos suficientes), se pudo comparar un número similar de datos para el análisis.

Dada la baja cantidad de datos a evaluar para la comparación de resultados, se analizaron con pruebas de t-student, las que indican si existen diferencias entre las medias y que supone normalidad de los datos cuando el número de estos es bajo, y que por lo tanto no es determinada por las pruebas de normalidad (en este caso, se trató de utilizar la de Shapiro-Wilk).

En la evaluación del peso de frutos se seleccionaron tres niveles para cada categoría de disponibilidad de cobre (tres niveles deficiente y tres suficientes) y no dos, como en el resto de los análisis, debido a que muchas de las repeticiones no presentaron frutos de calibre 20 – 25 mm, y para el cálculo del peso promedio se necesitó considerar muestras que si tuvieran frutos de ese calibre, por lo tanto, se aumentó el número de niveles evaluados, de todas formas, tanto en la evaluación con dos niveles de cobre en el suelo como en la de tres, el resultado fue el mismo.

Análisis adicionales se realizaron para el caso de peso, firmeza y razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable, los cuales consistieron en la correlación entre todos los niveles de cobre encontrados en el estudio y los resultados de la medición de cada parámetro de calidad, mediante un gráfico de dispersión con barras de error.

En el análisis de firmeza se evaluó el efecto de la época de poscosecha y del nivel de cobre en el suelo sobre este parámetro de calidad, a través de un ANDEVA de dos vías, análisis que no requirió normalización de los datos, pues estos fueron considerados normales por la prueba de Shapiro-Wilk.

Por último, en el análisis de la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable se evaluó el efecto de la variedad sobre este parámetro de calidad, medido en cosecha y poscosecha, a través de un ANDEVA de dos vías.

4 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Rendimiento

Al evaluar el rendimiento obtenido por las variedades Brigitta y Elliot, establecidas en suelos con distintos niveles de cobre extractable, se determinó una relación entre el nivel de Cu extractable y el rendimiento. Es decir, a medida que el nivel de Cu aumenta, inicialmente hay un rápido incremento del rendimiento del cultivo de arándano y que posteriormente se mantiene constante o incluso puede observarse una disminución del rendimiento, atribuible a una ligera toxicidad. Este comportamiento ha sido señalado por BERNIER (1999), quien establece que existe una correlación positiva entre el nivel de un nutriente extractable y el rendimiento de un cultivo y que, alcanzado un nivel crítico de nutriente en el suelo, el rendimiento no se afecta a medida que incrementa el nivel del nutriente disponible, esto hasta que se alcanza un nivel de toxicidad, que afectaría negativamente el rendimiento (Figura 7).

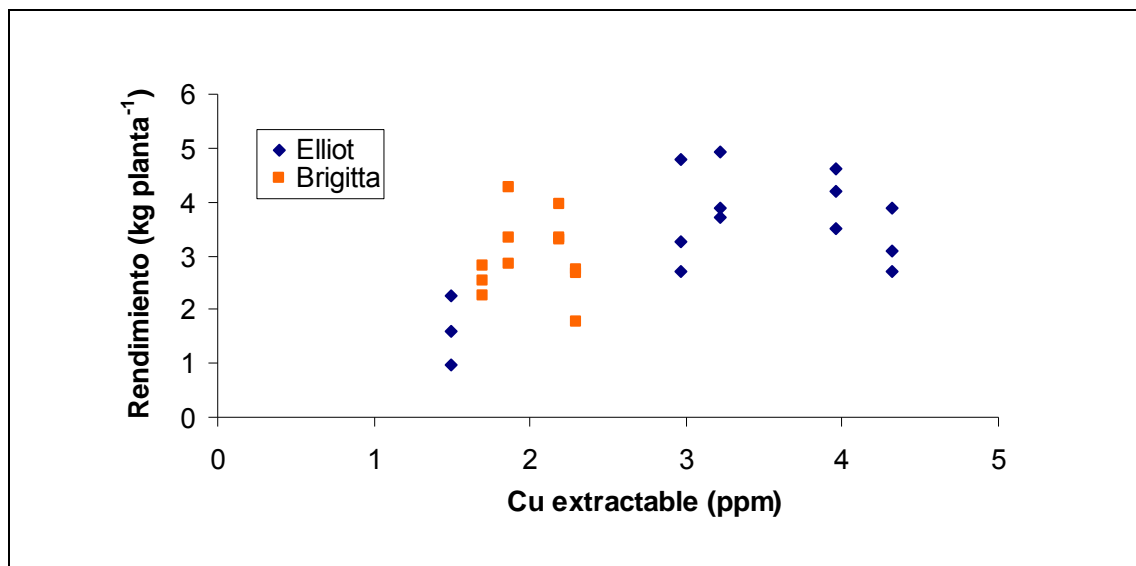


FIGURA 7 Rendimiento de las variedades Brigitta y Elliot establecidas en suelos con diferentes niveles de cobre extractable.

La ligera disminución en el rendimiento observada en la Figura 7, con mayores niveles de cobre extractable, podría no deberse a un efecto de toxicidad, dado que las

referencias de literatura señalan que la toxicidad se presenta con niveles de cobre extractable mucho mayores que los evaluados en este estudio. En el Cuadro 10 se muestran diferentes referencias de niveles críticos de la literatura, aunque obtenidos para otros cultivos diferentes al arándano. Debido a ello, se supone que la disminución no sería real, y que se debería a factores no detectados en este estudio, por lo que se asume que el ajuste se realizará con una función que no disminuye el rendimiento, como lo es la función de Boltzman.

En este estudio, utilizando los valores promedio de los datos presentados en la Figura 7, se obtuvo un buen ajuste de la regresión, con un valor de $Y_{m\acute{a}x}$ de 3,55 de productividad expresado en $kg\ planta^{-1}$. Restando el valor del error estándar de la ecuación al valor de $Y_{m\acute{a}x}$, se determinó el nivel de cobre extractable crítico, bajo el cual el rendimiento comienza a afectarse de forma negativa. De acuerdo con la ecuación utilizada, éste fue de 1,8 ppm de Cu extractable en el suelo (Figura 8). Este valor implica que niveles de cobre extractable inferiores a éste producen una disminución en el rendimiento y niveles superiores a éste permiten alcanzar un rendimiento cercano al potencial, sin una variación significativa en la medida que aumenta el nivel de cobre extractable.

Este valor crítico se calculó realizando una regresión con una función sigmoidea tipo Boltzmann, ajustada para que el valor más bajo de rendimiento sea 0, cuando el nivel de cobre extractable “valor en el eje X” fue igual a cero. La ecuación ajustada por regresión fue:

$$Y = \frac{Y_{m\acute{a}x}}{1 + \exp\left(\frac{V50 - X}{S}\right)} \quad 4 (3)$$

Por lo tanto, al despejar la variable “X”, que corresponde al nivel crítico de cobre extractable, la ecuación es:

$$X = V50 - \left[\ln\left(\left(\frac{Y_{m\acute{a}x}}{Y}\right) - 1\right) * S \right] \quad 4 (4)$$

Los resultados del ajuste de los datos son los siguientes:

- Mejores valores de ajuste

Y_{máx} (mayor rendimiento) : 3,55 ± 0,26

V₅₀ (Punto de inflexión de la sigmoidea) : 1,53 ± 0,09

Pendiente (S) : 0,16 ± 0,11

- Bondad de ajuste

Grados de libertad : 6

R² : 0,617

Error estándar de la ecuación (Sy.x) : 0,61

El valor de “Y” para obtener el valor crítico se calculó de la siguiente manera:

$$Y = Y_{\text{máx}} - \text{error estándar (Sy.x)} \quad 4 \text{ (5)}$$

$$Y = 2,94$$

CUADRO 10 Niveles de toxicidad de cobre del suelo extraído con diferentes soluciones extractoras, para distintos cultivos.

Cultivo	Nivel de toxicidad (ppm)	Solución extractora	Autor
Cítricos	> 50	HC1 1N	Reitz <i>et al.</i>
Arroz	20 a 40	HC1 0,05 N + H ₂ SO ₄ N	Mannix y Rodríguez
Arroz	> 40	HC1 0,05 N + H ₂ SO ₄ N 0,02 N	Universidad Estatal de Carolina del Norte
Arroz	> 30	NaHCO ₃ 0,5 N + EDTA 0,01 M a pH 8,5	Universidad Estatal de Carolina del Norte
Cereales	> 200	s.i.	Anne y Dupis

s.i.: sin información.

FUENTE: CORDERO y RAMÍREZ (1979).

Se consideró que un error estándar general de la ecuación, dado en valores de “Y”, permite diferenciar adecuadamente los valores en que no existen diferencias estadísticas con el incremento de rendimiento. Aproximaciones similares han sido seguidas y propuestas por MELSTED y PECK (1977). Derivando la ecuación para el punto referido se resuelve la ecuación propuesta, determinándose un valor de cobre extractable crítico de 1,8 ppm.

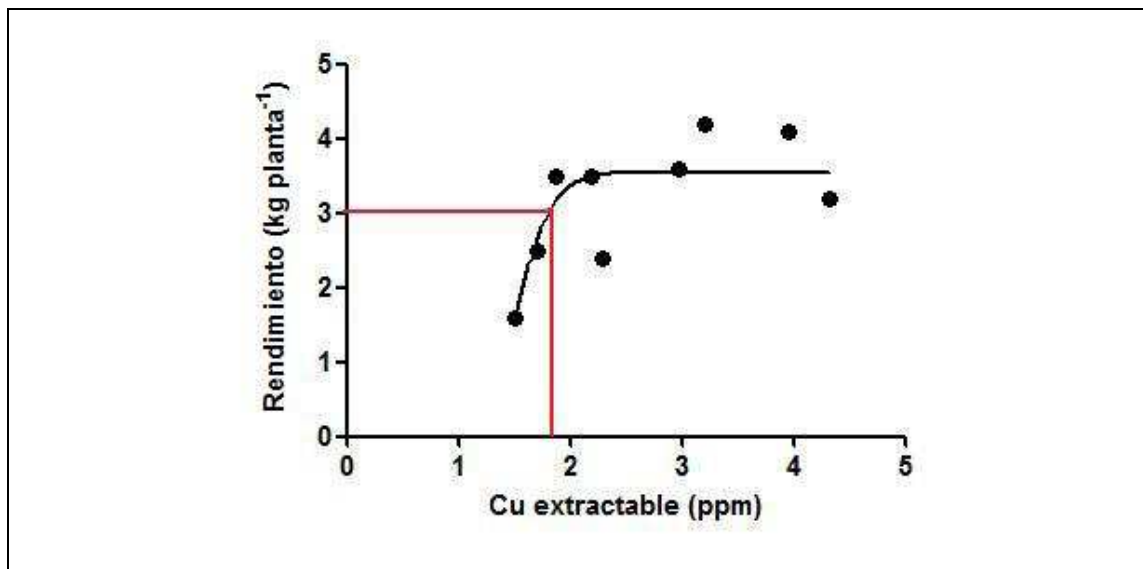


FIGURA 8 Determinación del nivel crítico de cobre extractable para el cultivo del arándano en suelos volcánicos del sur de Chile.

Al analizar los resultados obtenidos por variedad y en su conjunto (Figura 9), sus valores promedios y sus errores estándares, se observa una disminución en el rendimiento bajo el nivel crítico de cobre extractable propuesto para ambas variedades en conjunto, pero esta relación fue menos evidente cuando se grafican los valores para cada variedad de arándano por separado. Ello permite suponer que el nivel crítico podría ser diferente por variedad, sin embargo, no se puede ratificar este supuesto con los datos presentados, lo que sugiere que a futuro se evalúe este criterio con un mayor número de muestras para cada variedad.

En el análisis de los datos presentados en las Figuras 7, 8 y 9 no se consideraron todas las evaluaciones realizadas en el estudio. Se descartaron puntos, que presentaban productividades muy bajas, lejos de los rendimientos esperados, y un comportamiento errático.

El descarte de los puntos se realizó considerando que en esos casos la relación entre el Cu extractable y el rendimiento no se manifestó debido a otros factores diferentes del nivel de Cu. El comportamiento errático de los valores no considerados en este estudio, se supuso que pudo haberse generado debido a factores como el manejo del cultivo, por ejemplo del tipo de poda, enfermedades, problemas en el suministro del riego o a una baja eficiencia en el método de cosecha, entre otros factores que hayan afectado a los ensayos individuales de forma específica. Sin embargo, deben tenerse en consideración en las investigaciones futuras, ya que es necesario tener una clara explicación para el fenómeno observado.

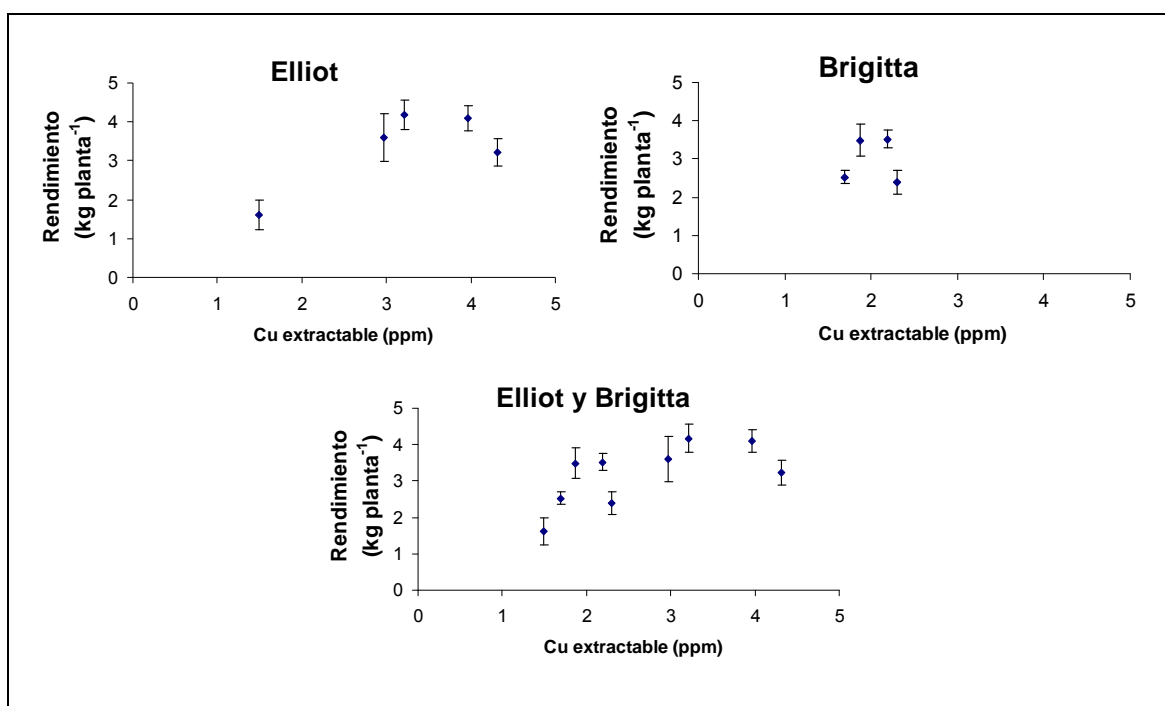


FIGURA 9 Rendimiento promedio obtenido de las variedades Elliot y Brigitta, en forma individual y en conjunto, establecidas en suelos con diferentes niveles de cobre extractable.

(Barras de error corresponden al error estándar).

4.2 Momento óptimo de muestreo foliar

Para evaluar el momento óptimo en el cual realizar el muestreo foliar y detectar posibles deficiencias de cobre, se determinó la variación de cobre foliar en el tiempo para cada variedad de arándano, considerando niveles suficientes y deficientes de

cobre extractable (ver cap. 3.2.5.1) en las distintas unidades experimentales, además del nivel crítico a nivel foliar.

4.2.1 Variación de cobre foliar en la variedad Brigitta. Al evaluar la variación en la concentración de cobre foliar en el tiempo para esta variedad, se observó que, en general, el nivel de cobre foliar disminuyó con el tiempo, tanto para los niveles deficientes de cobre en el suelo como para los niveles suficientes. Estos últimos presentaron mayores niveles de cobre foliar en comparación con los niveles deficientes (Figura 10). Sin embargo, en los ensayos que presentaban niveles suficientes de cobre extractable en el suelo, se observó un aumento en la concentración de cobre foliar, desde el cuarto y hasta el sexto muestreo, correspondientes a los meses de febrero a abril, respectivamente.

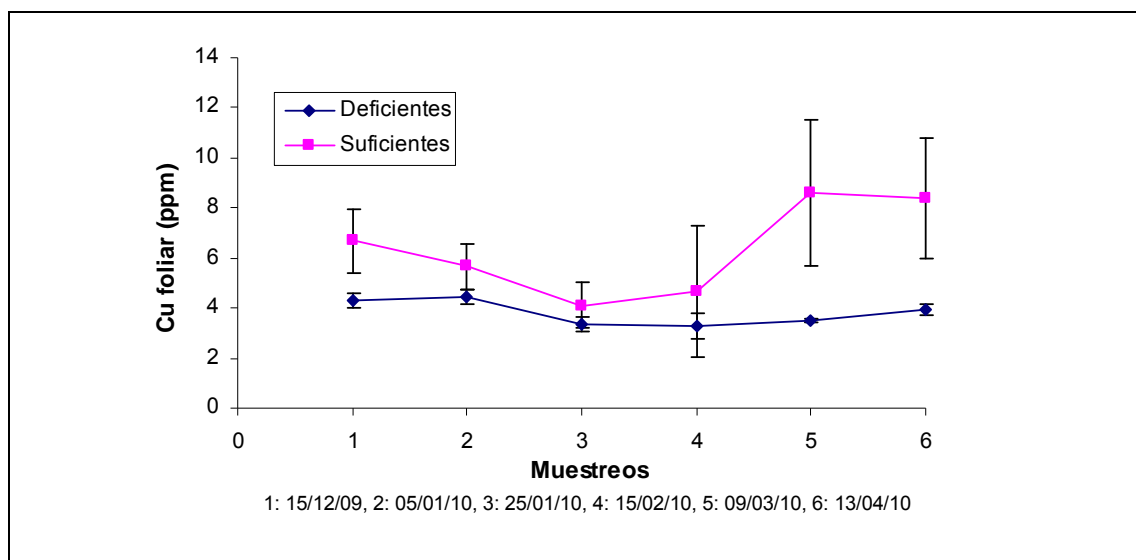


FIGURA 10 Variación de la concentración de cobre del tejido foliar en el tiempo en la variedad Brigitta.

(Barras de error corresponden al error estándar).

YANG (2002), indica que a medida que transcurre la temporada de cultivo, desde cuaja de frutos hasta el fin de la época de cosecha, la concentración de cobre en el tejido foliar de arándanos altos disminuye a una tasa relativamente constante. En este estudio, el cuaje de frutos y fin de la cosecha corresponden a estados ocurridos durante los muestreos 1 al 5, aproximadamente (Figura 10), lo cual concuerda con lo descrito por este autor, ya que durante ese periodo de medición la concentración de cobre en el tejido foliar fue descendente para los dos niveles estudiados (deficientes y

suficientes). Sin embargo, una excepción se presentó en los ensayos con niveles suficientes de cobre del suelo, pues se observó que a partir del cuarto muestreo comienza a aumentar el contenido de cobre foliar, en lugar de seguir descendiendo. No obstante, al realizar una comparación entre los muestreos foliares (de los niveles suficientes de cobre del suelo) a través de un ANDEVA de una vía, se determinó que sus medias no son estadísticamente significativas (con un 95% de confianza). Es decir, el aumento aparente de cobre foliar a partir del cuarto muestreo no fue significativo.

En la Figura 10, se observa que la mejor época de muestreo foliar sería en marzo y abril (quinto y sexto muestreo, respectivamente), ya que en esas fechas se presentó la mayor diferencia en el contenido de cobre foliar entre ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo.

4.2.2 Variación de cobre foliar en la variedad Elliot. Se observó que, en general, la concentración de cobre foliar disminuyó a partir del primer muestreo en diciembre y luego aumentó hasta el sexto muestreo en abril. Sin embargo, este aumento en la concentración de cobre foliar ocurrió antes en los ensayos con niveles suficientes de cobre en el suelo. Este aumento fue más evidente a partir del quinto muestreo en marzo, momento en el cual también aumentó la concentración de cobre foliar en los ensayos con niveles deficientes de cobre en el suelo (Figura 11).

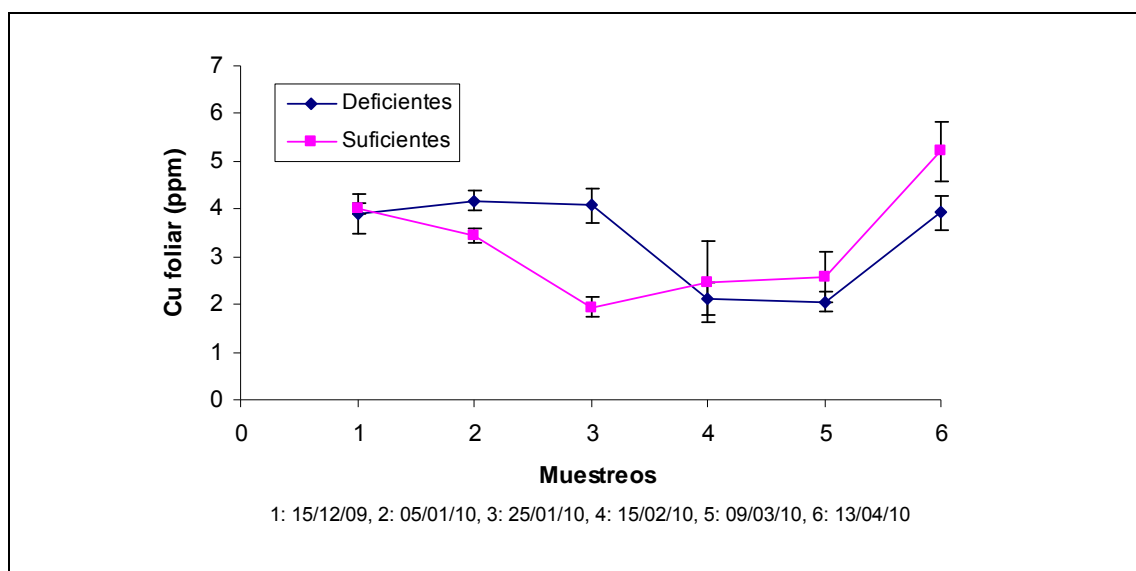


FIGURA 11 Variación de la concentración de cobre del tejido foliar en el tiempo en la variedad Elliot.

(Barras de error corresponden al error estándar).

Estos resultados ratifican lo anteriormente señalado por YANG (2002), mostrando que también en esta variedad la concentración de cobre foliar disminuyó a partir de cuaja de frutos y hasta el final de la cosecha de frutos, eventos que en este estudio ocurrieron durante el primer y quinto muestreo, aproximadamente.

En la Figura 11, se observa que el momento durante el cual la concentración de cobre foliar de los ensayos con niveles suficientes de cobre en suelo fue mayor a los ensayos con niveles deficientes, ocurrió a partir del cuarto muestreo en febrero y hasta el sexto muestreo en abril. Estos resultados ratifican lo observado en Brigitta, sugiriendo que durante los meses después de cosecha de frutos se refleja mejor la condición de disponibilidad de Cu en el suelo en el muestreo foliar. Fue en el sexto muestreo (en abril) cuando se presentó la mayor diferencia en la concentración de cobre foliar entre ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, por lo que de acuerdo a estos resultados sería el momento óptimo de muestreo foliar para esta variedad.

Si bien durante el segundo y tercer muestreo foliar (enero), también se presentó una diferencia entre las concentraciones foliares de los ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, no sería útil realizar muestreos foliares en este periodo, pues ocurre que los ensayos con cobre del suelo deficiente tuvieron mayores concentraciones foliares que los ensayos con cobre del suelo suficiente, por lo cual los resultados del muestreo foliar no entregarían una información clara acerca de la disponibilidad de cobre en el suelo.

Luego de comparar las concentraciones foliares de cobre de los muestreos cinco y seis con la prueba t-student, para cada categoría de disponibilidad de cobre en el suelo en particular (deficiente y suficiente), la media de la concentración foliar del muestreo de abril fue diferente a la media de la concentración foliar del quinto muestreo en marzo, siendo esta diferencia altamente significativa (p valor $< 0,01$), con un 95% de confianza.

4.3 Nivel crítico de cobre en el tejido foliar

Al relacionar el nivel de cobre extractable con la concentración de cobre en el tejido, se determinó que existió una relación positiva entre ambas variables. Es decir, que a medida que aumentó el nivel de cobre extractable en el suelo, la concentración de

cobre en el tejido foliar también aumentó (Figura 12). Esta relación positiva entre el nivel de cobre del suelo y el cobre foliar ha sido descrita por MARÍN y PÉREZ (1992), quienes indicaron que, dentro de ciertos límites, existe una relación directa entre la dosis de fertilización o el nivel de fertilidad del suelo y la concentración foliar de un determinado nutriente.

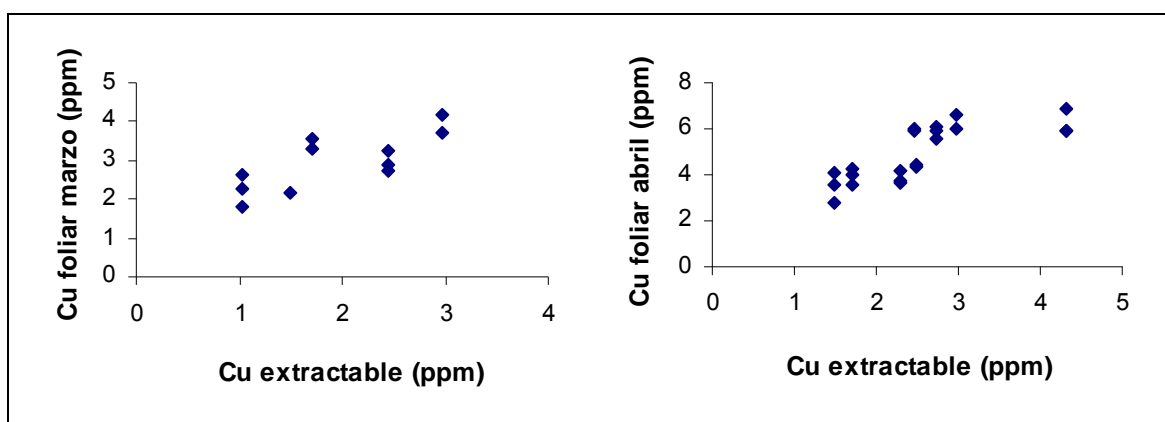


FIGURA 12 Relación entre el nivel de cobre extractable del suelo y la concentración de cobre en el tejido foliar medida en los meses de marzo y abril.

Además, en la Figura 12 se observa que la concentración de cobre foliar de abril (muestreo seis) fue mayor a la concentración de marzo (muestreo cinco), lo cual es consecuente en el caso de la variedad Elliot (Figura 11), en la cual se presentó un aumento del cobre foliar a partir de marzo. Sin embargo, este aumento no fue evidente en la variedad Brigitta (Figura 10).

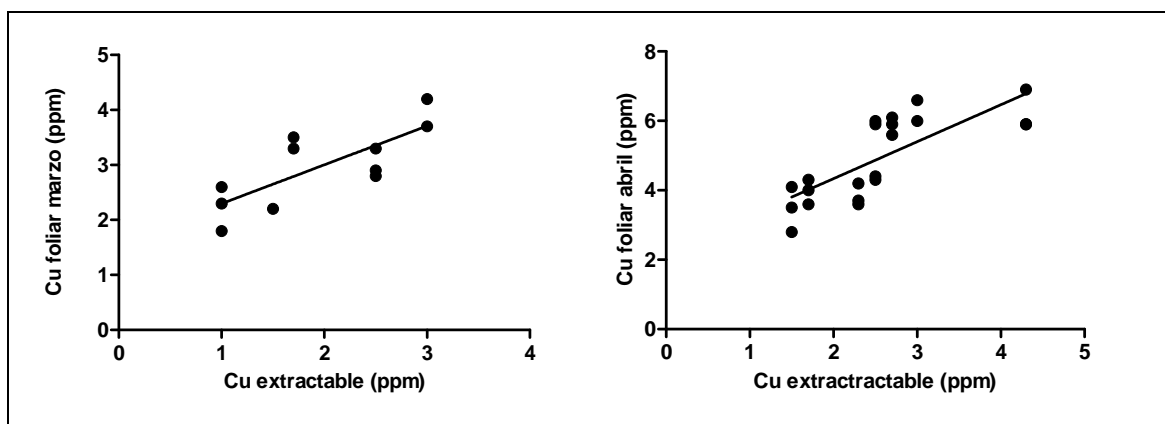


FIGURA 13 Regresión lineal entre el nivel de cobre extractable del suelo y la concentración de cobre en el tejido foliar.

En este estudio, utilizando los valores de los datos presentados en la Figura 12, se obtuvo un buen ajuste de regresión lineal para las fechas de muestreo de marzo y abril (Figura 13). Los valores de ajuste se presentan en el Cuadro 11.

CUADRO 11 Valores de ajuste de la regresión lineal para los muestreos foliares de marzo y abril.

Resultados de la regresión	Muestreo marzo	Muestreo abril
Mejores valores de ajuste		
Intercepto de Y	1,59 ± 0,40	2,20 ± 0,54
Pendiente	0,71 ± 0,19	1,07 ± 0,20
Bondad de ajuste		
Grados de libertad	9	19
R ²	0,597	0,594
Error estándar (Sy.x)	0,48	0,79

La ecuación de la regresión lineal con la cual se calculó el valor de “Y” (nivel de cobre foliar crítico), de acuerdo a un nivel de cobre extractable del suelo, es la que se presenta a continuación:

$$Y = \text{Intercepto de Y} + (\text{Pendiente} \cdot X) \quad 4 (6)$$

Donde “X” corresponde al nivel crítico de cobre en el suelo. Al reemplazar los valores de la ecuación con los datos correspondientes para cada fecha de muestreo, se determinaron los niveles de Cu foliar para cada caso:

$$Y_1 \text{ (cobre foliar crítico en marzo): } 1,59 + 0,71 \cdot 1,8 = 2,9 \text{ ppm}$$

$$Y_2 \text{ (cobre foliar crítico abril) : } 2,20 + 1,07 \cdot 1,8 = 4,1 \text{ ppm}$$

Es decir, que habiéndose establecido una relación entre el contenido de cobre en el suelo y el contenido de cobre en tejido foliar, cuando el nivel de cobre extractable es 1,8 ppm (nivel crítico en el suelo), la concentración crítica en tejido foliar sería de 2,9 ppm en marzo y de 4,1 ppm en abril.

Los niveles de cobre foliar utilizados en este estudio corresponden a los valores obtenidos del quinto y sexto muestreo, realizados en marzo y abril, respectivamente, y fueron utilizados estos valores por ser los que corresponden al momento en el cual se presenta la mayor diferencia en el contenido de cobre foliar entre niveles deficientes y suficientes de cobre extractable (Figuras 10 y 11).

En la evaluación de esta relación se descartaron valores de repeticiones erráticos de Cu foliar (Figura 12). Sin embargo, sin la eliminación de estos valores, la correlación entre el cobre del suelo y el cobre foliar de marzo (quinto muestreo) fue mayor a la correlación entre el cobre del suelo y el cobre foliar de abril (sexto muestreo), situación que haría suponer, en una primera instancia, que el mejor momento para realizar el muestreo foliar sería en marzo.

Por su parte, el sexto muestreo, en abril, tuvo el doble de muestras que el muestreo de marzo, incluyendo además, niveles más elevados de cobre foliar, que estarían en un nivel de suficiencia (Figura 12). Utilizando un nivel crítico foliar de 4,1 ppm (Figura 14), calculado en el sexto muestreo (abril), los niveles de cobre foliar de los ensayos “suficientes” fueron mayores que el nivel crítico, y los ensayos “deficientes” tuvieron un valor de concentración menor que el nivel crítico. Por lo cual, utilizando este nivel crítico, fue posible detectar estados de deficiencia o suficiencia de cobre a nivel foliar y, por ende, en el suelo. Por lo tanto, en abril sería el momento más adecuado para realizar el muestreo foliar.

En cambio, cuando se establece un nivel crítico foliar de 2,9 ppm (calculado para el quinto muestreo en marzo), la concentración promedio de cobre foliar, tanto de los ensayos “deficientes” como de los “suficientes”, fue superior a este nivel crítico (con la excepción de los muestreos en Elliot en febrero y marzo, meses en que ésta concentración crítica fue mayor a la concentración foliar de los ensayos “deficientes” y “suficientes”). Estos resultados muestran que no fue posible determinar niveles de deficiencia o suficiencia del nutriente en el tejido foliar y en el suelo, en este período, ya

que las concentraciones encontradas estuvieron en general por sobre el nivel de suficiencia propuesto para esta fecha. Por lo tanto, y de acuerdo a estos antecedentes, en el mes de marzo no sería adecuado realizar un muestreo foliar (Figura 15).

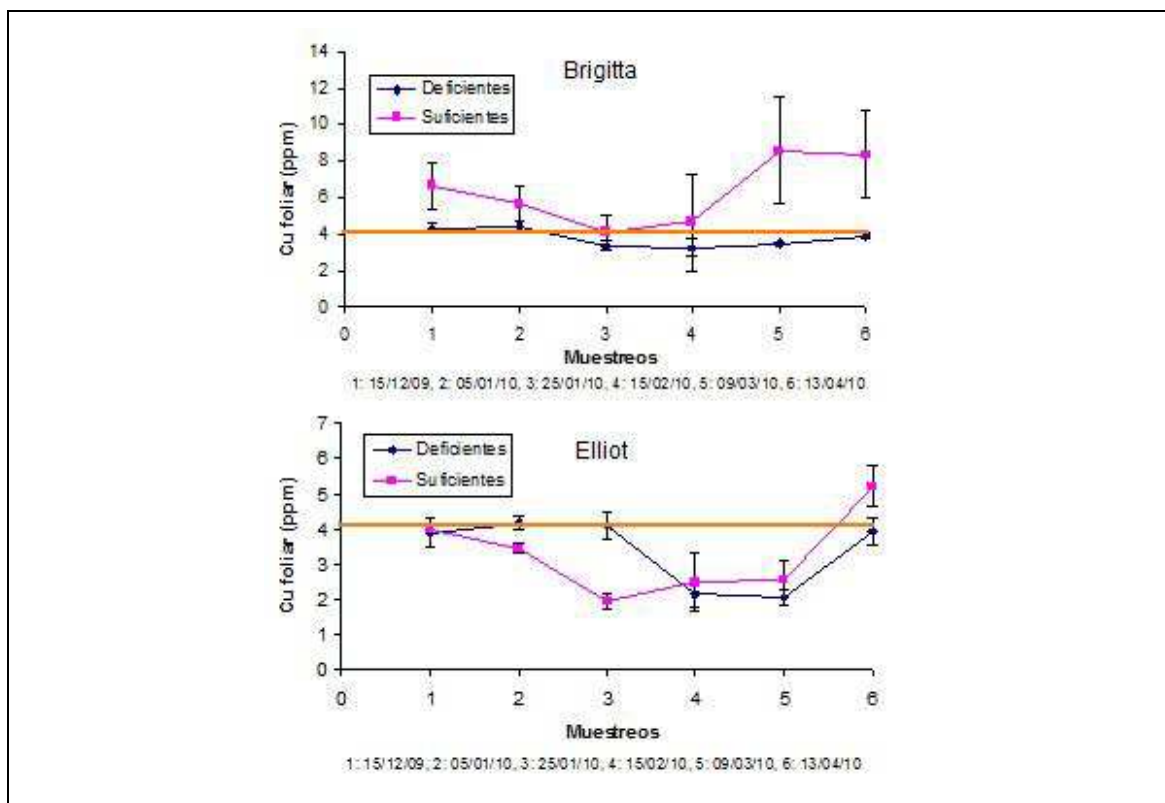


FIGURA 14 Concentración crítica de cobre foliar de 4,1 ppm con respecto a las concentraciones foliares de los ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo.

Es importante señalar que según lo descrito por HANSON y HANCOCK (2006), quienes indican que un nivel suficiente de cobre en el tejido foliar en plantas de arándano alto se encuentra en un rango de 5 – 20 ppm, los niveles de cobre foliar de los ensayos de este estudio serían bajos, pues en su mayoría son valores inferiores al rango establecido por estos autores. Sin embargo, con respecto a los valores críticos de cobre foliar propuestos en este estudio, correspondientes a 2,9 y 4,1 ppm (en marzo y abril, respectivamente), muchos de los valores de los determinados en los huertos están en un nivel de suficiencia, pues su concentración de cobre foliar fue superior a estos niveles (Anexo 4).

Debe señalarse que en este análisis y en los relacionados con el nivel de cobre foliar, de este estudio, no se consideraron todos los experimentos evaluados, debido a que muchos de ellos tenían niveles de cobre extractable muy similares. Sólo se consideraron las muestras foliares de la mitad de los repeticiones (pero al final de la temporada, en el sexto muestreo en abril, se tomaron muestras foliares de todas las repeticiones, es por ello que en esta época de muestreo hay un mayor número de datos) (Anexo 4).

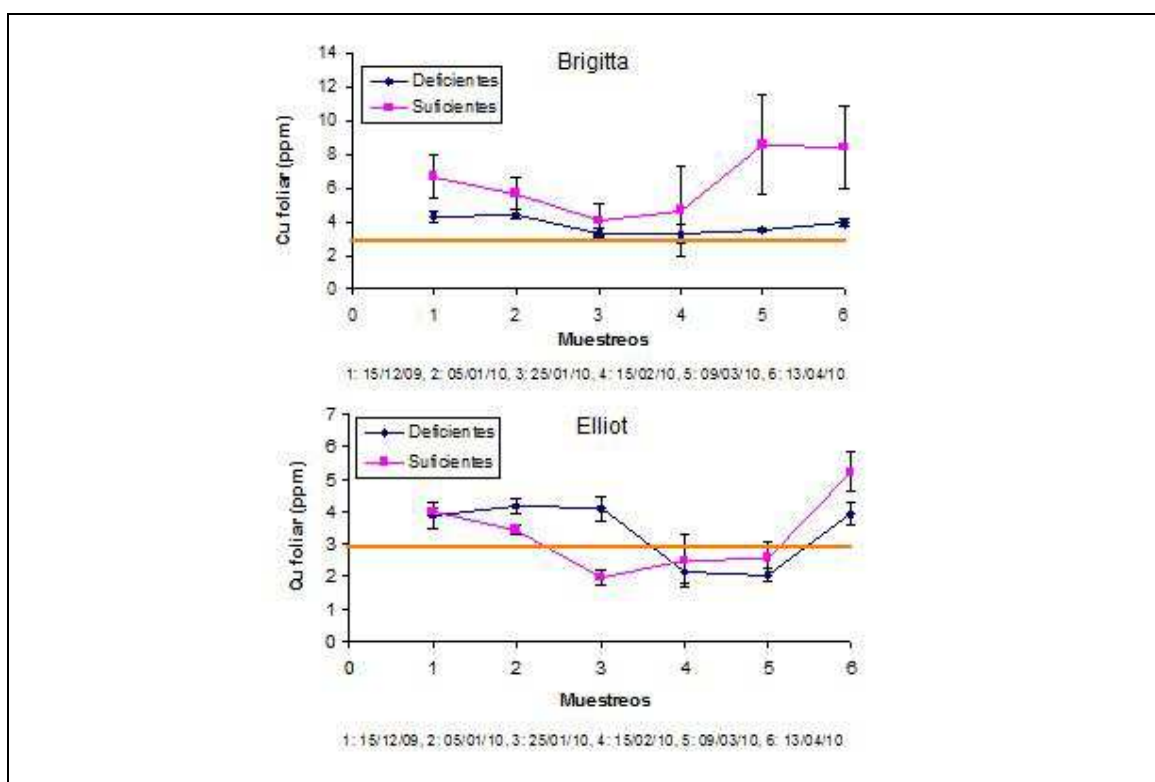


FIGURA 15 Concentración crítica de cobre foliar de 2,9 ppm con respecto a las concentraciones foliares de los ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo.

4.4 Calidad de fruto

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los parámetros de calidad de fruto evaluados en este estudio.

4.4.1 Calibre. Al evaluar el diámetro de frutos obtenido para las variedades Brigitta y Elliot, en relación con los niveles de deficiencia y suficiencia de cobre en el suelo, no se determinó una relación entre ambas variables. Es decir, que independiente del nivel de

cobre en el suelo, el diámetro de los frutos no se vio afectado. Esto significaría que este parámetro de calidad no sería dependiente del nivel de cobre en el suelo en el rango evaluado. En la Figura 16 se observa que no se determinaron diferencias estadísticamente significativas entre el calibre de frutos provenientes de ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, comparados en cada rango de calibre en particular.

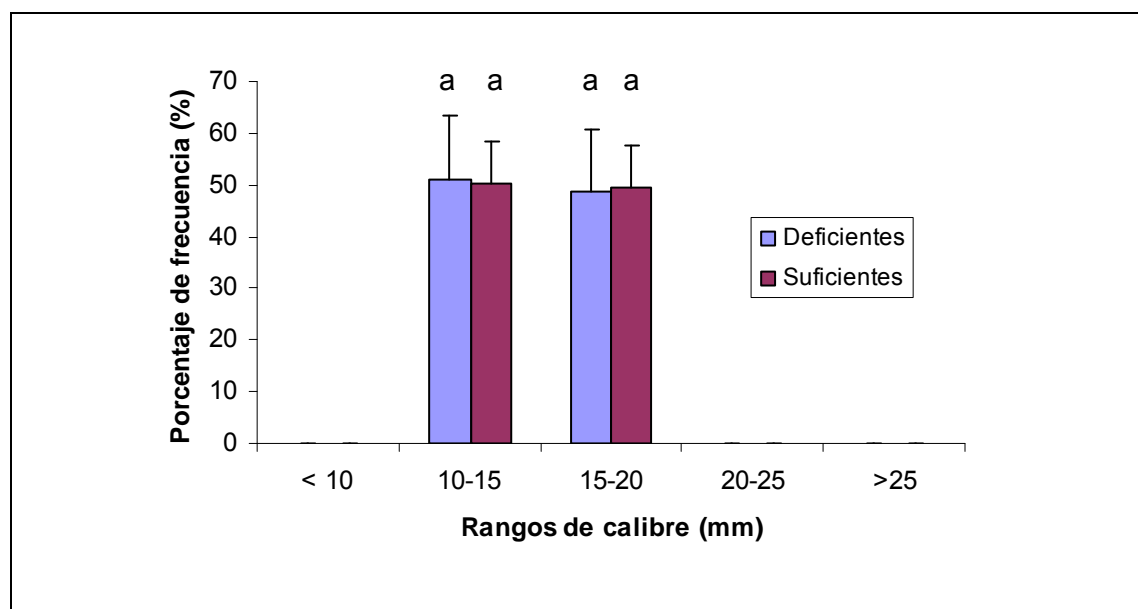


FIGURA 16 Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el calibre de frutos.

(Letras distintas indican diferencias en el peso de frutos entre niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, evaluadas en cada rango de calibre de manera separada. Barras de error corresponden al error estándar).

El hecho de que el nivel de cobre en el suelo no influyese en el diámetro de los frutos era esperable, pues este parámetro de calidad es dependiente de muchos otros factores, probablemente más determinantes que el nivel de Cu en el suelo. Algunos de ellos son: el número de semillas que presente el fruto, presentando un mayor calibre los frutos que tienen un mayor número de semillas (BAÑADOS, 2005); la polinización, aumentando en un 10 – 20% el tamaño de los frutos de arándano con la presencia de agentes polinizadores (Hancock, 1991, citado por CONTRERAS, 2010); el vigor de la rama, existiendo una correlación entre éste y el tamaño de los frutos; la cercanía a la rama, siendo de mayor tamaño los frutos de un racimo más cercano a la rama, en comparación de aquellos que provienen de racimos más distales (INDAP, 2005) y, por

último, el manejo agronómico de las plantas. Por ejemplo, la variedad Elliot, entre otras, produce fruta de bajo calibre ante un exceso de carga frutal debido a una poda inadecuada y, por el contrario, con una poda fuerte produce frutos de alto calibre, pero con un menor número de frutos (Garren, 1988, y Lobos, 1991, citados por CONTRERAS, 2010).

Es importante señalar que los valores de diámetro de frutos determinados en este estudio corresponden a valores normales, encontrándose dentro de los valores descritos por el Departamento de Extensión de Michigan Blueberry Growers (MBG), citado por CONTRERAS (2010), quien clasifica el diámetro ecuatorial de frutos de arándano alto en: calibre pequeño (≤ 10 mm), medio (11 – 15 mm) y fruto grande (≥ 16 mm), sin especificar entre variedades.

4.4.2 Peso. Al relacionar el nivel de cobre en el suelo con el peso de los frutos de las variedades Brigitta y Elliot, similarmente al calibre no se determinó que exista una relación entre ambas variables. Es decir, independiente del nivel de cobre en el suelo, el peso de los frutos no varió. De esta forma, este parámetro de calidad no fue dependiente del nivel de cobre en el suelo, en el rango evaluado. En la Figura 17 se observa que no se determinaron diferencias estadísticamente significativas entre el peso de los frutos provenientes de ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, comparados en cada rango de calibre en particular.

Como se observa (Figura 17), se determinó una relación directa entre el calibre y el peso de los frutos. Es decir, que mientras mayor fue el calibre de los frutos, mayor fue su peso. Esto es atribuible al mayor volumen de los frutos de alto calibre, que pueden contener una mayor cantidad de agua y materia seca en ellos.

Así mismo, un análisis de comparación entre el nivel de cobre del suelo y el peso de los frutos, calculados como el promedio de cinco frutos obtenidos del calibre modal de cada nivel de cobre (sin agrupar en deficientes y suficientes y considerando todos los niveles de cobre del estudio), no se observó una relación entre ambas variables. Esto nos indica que a medida que fue mayor el nivel de cobre en el suelo, en general no se mostró una variación del peso de los frutos, tanto para los frutos de calibre entre 10-15 mm como para los frutos de calibre entre 15-20 mm. Sin embargo, este análisis determinó una diferencia en el peso de los frutos de acuerdo a su calibre; los frutos de

calibre entre 10-15 mm tuvieron menor peso que los frutos de calibre entre 15-20 mm (Figura 18).

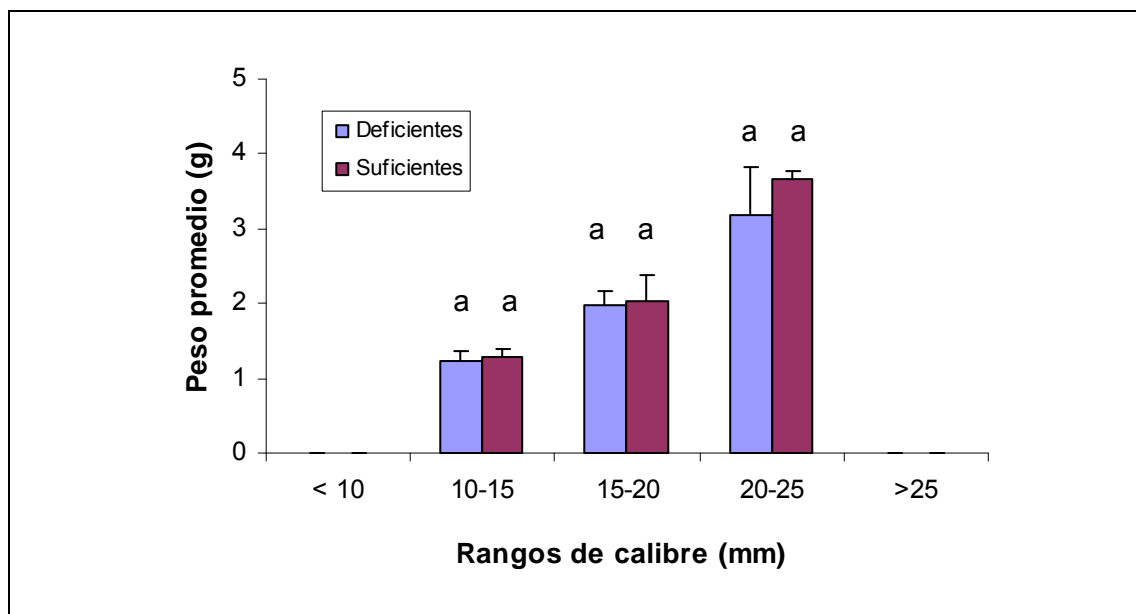


FIGURA 17 Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el peso de frutos, según su calibre.

(Letras distintas indican diferencias en el peso de frutos entre niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, evaluadas en cada rango de calibre de manera separada. Barras de error corresponden a la desviación estándar).

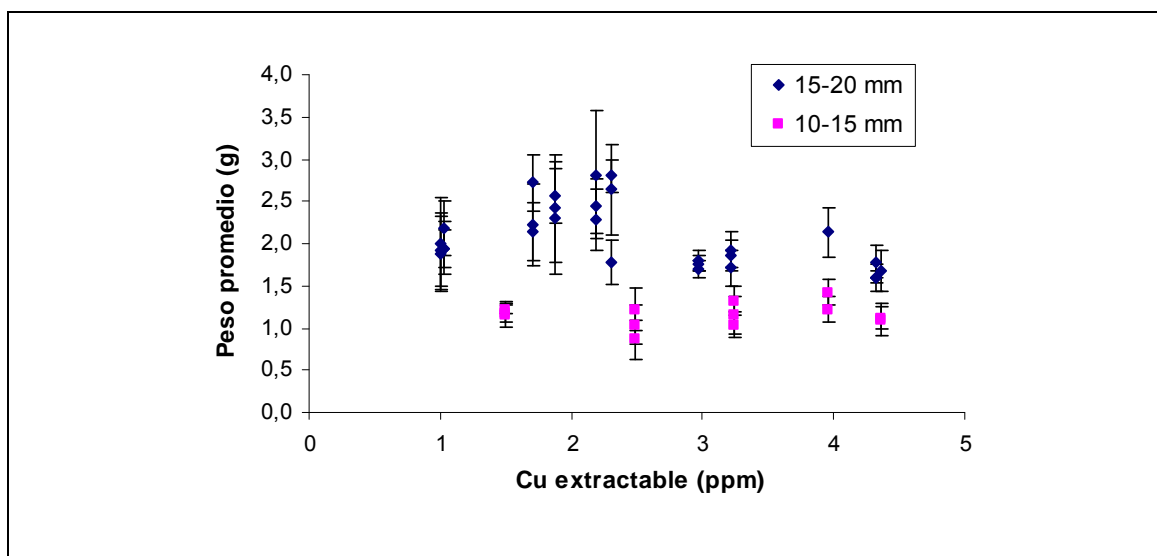


FIGURA 18 Relación entre el nivel de cobre del suelo y el peso promedio de los frutos del calibre modal obtenido en cada uno de los niveles.

(Barras de error corresponden a la desviación estándar).

En relación a lo expuesto anteriormente, si el peso de los frutos está en directa relación con su calibre, entonces los mismos factores que determinan el calibre de los frutos pueden determinar su peso (factores citados anteriormente como determinantes del calibre de frutos y muchos otros). Como por ejemplo la polinización cruzada, Gupton (1984) y Eck (1989), citados por CONTRERAS (2010), muestran que se produce frutos de mayor peso al ocurrir polinización cruzada y también de mayor calibre.

En la Figura 16 no se observó la presencia de frutos con calibre entre 20 – 25 mm, pero en la Figura 17 se evidencia la presencia de frutos con este calibre (pues aparece su peso). El hecho de que no se evidencien los frutos de este calibre en la Figura 16 se debe a que el porcentaje de frutos obtenidos con este calibre fue muy bajo, correspondiendo al 1,5% del total de todas las muestras analizadas en el estudio, y a que en dicha figura aparecen los porcentajes de frutos obtenidos de sólo dos niveles de cobre del suelo deficientes y dos suficientes, razón por la cual las repeticiones que presentaron frutos con el mencionado calibre no fueron utilizadas para realizar la prueba t-student.

4.4.3 Tipo de fruto. Al evaluar el efecto del nivel de cobre del suelo sobre el tipo de fruto obtenido al momento de la cosecha y en la poscosecha, no se observó una relación entre estas variables. Es decir, independiente del nivel de cobre en el suelo, el tipo de fruto no varió, tanto en las evaluaciones realizadas en la cosecha, como a los 20 y a los 40 días de poscosecha. Esto significaría que el tipo de fruto obtenido en la cosecha y en la poscosecha no sería dependiente del nivel de cobre en el suelo, en el rango evaluado. En las Figuras 19, 20 y 21 se muestra que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el porcentaje de frutos obtenidos en ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, al comparar las medias de estos ensayos para cada tipo de fruto en particular.

Sólo a los 40 días de poscosecha se presentó una diferencia estadísticamente significativa entre el porcentaje de frutos machucados de los ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo. Presentaron un mayor porcentaje de frutos machucados los ensayos con niveles deficientes de cobre en el suelo, en comparación con los ensayos con niveles suficientes (Figura 21).

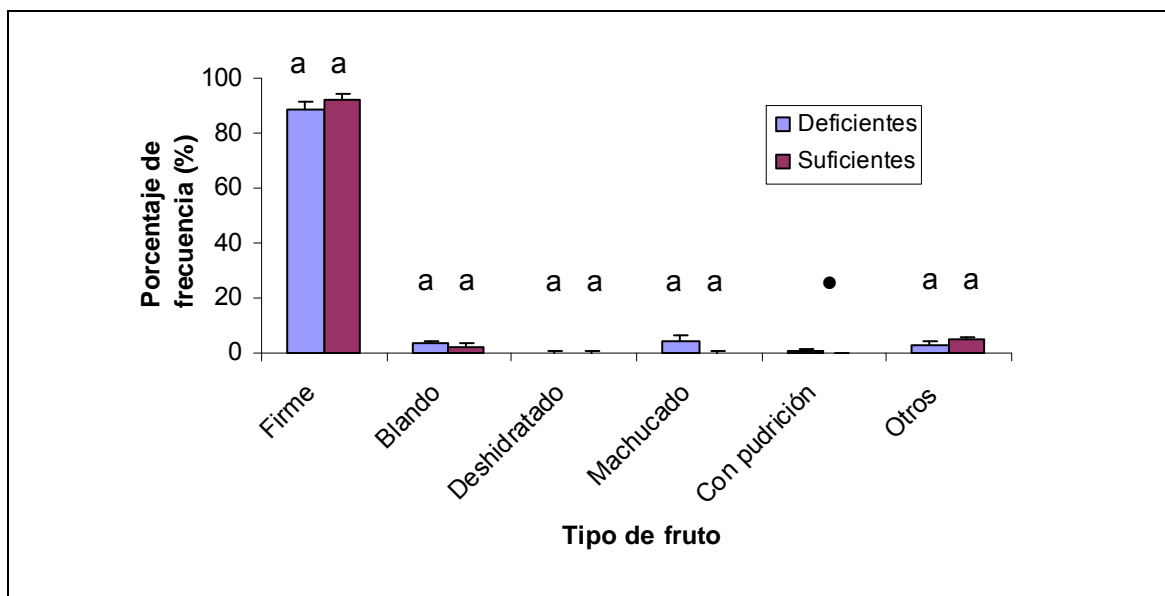


FIGURA 19 Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el tipo de fruto obtenido al momento de la cosecha.

(Letras distintas indican diferencias en el porcentaje entre niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, evaluadas en cada tipo de fruto de manera separada. Barras de error corresponden al error estándar. ●: No aparece la evaluación de diferencias entre las medias, pues todos los valores de uno de los niveles evaluados fueron cero).

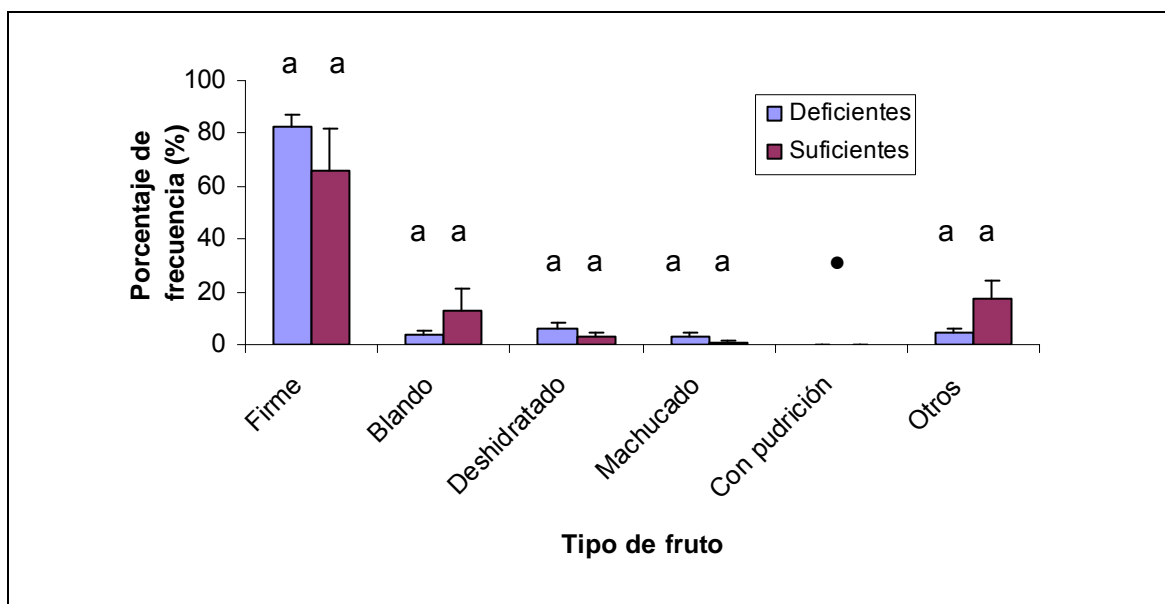


FIGURA 20 Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el tipo de fruto obtenido a los 20 días de poscosecha.

(Letras distintas indican diferencias en el porcentaje entre niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, evaluadas en cada tipo de fruto de manera separada. Barras de error corresponden al error estándar. ●: No aparece la evaluación de diferencias entre las medias, pues todos los valores de uno de los niveles evaluados fueron cero).

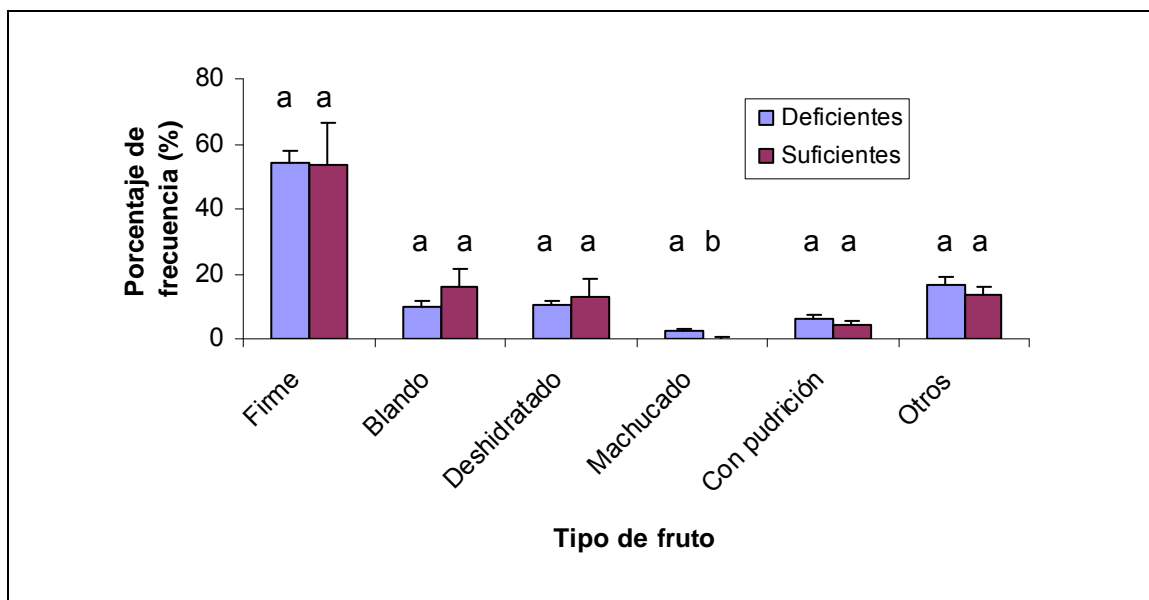


FIGURA 21 Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el tipo de fruto obtenido a los 40 días de poscosecha.

(Letras distintas indican diferencias en el porcentaje entre ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, evaluadas en cada tipo de fruto de manera separada. Barras de error corresponden al error estándar).

KIRKBY y RÖMHELD (2007) han señalado que el cobre está presente en las enzimas polifenol oxidasa, ascorbato oxidasa y diamino oxidasa, las cuales aparecen en las paredes celulares y participan en la biosíntesis de lignina, por lo cual, la deficiencia de cobre provoca la reducción de la lignificación. De esta forma, el Cu influiría en la presencia de un mayor porcentaje de frutos machucados en los ensayos con niveles deficientes de cobre en el suelo.

Sin embargo, otros autores señalan que el tipo de fruto de arándano obtenido a la cosecha y a la poscosecha es determinado por diversos factores. HIRZEL (2011) indica que el K está asociado a la firmeza de los frutos; Ca a firmeza, sanidad y vida en poscosecha y N al ablandamiento del fruto.

Debe señalarse que el efecto observado a los 40 días de poscosecha fue sólo en un porcentaje menor de frutos y que no constituyó el principal problema detectado en poscosecha. Por lo que posteriores estudios deben ratificar estos resultados, para asegurar si el Cu presenta un efecto en poscosecha. Además, sería adecuado determinar el nivel de Cu de los frutos a la cosecha y relacionarlo con los efectos de

poscosecha, lo que daría una medida más directa de los efectos de este nutriente. Sin embargo, estos análisis estuvieron fuera del alcance de este trabajo.

4.4.4 Firmeza. Al evaluar el efecto del nivel de cobre en el suelo sobre la firmeza de los frutos, en el momento de la cosecha y a los 20 y 40 días de poscosecha, no se observó una relación entre las variables. Esto, dado que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las medias de firmeza entre ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo. Una excepción se presentó en los 40 días de poscosecha, momento en el cual la firmeza de ensayos con niveles deficientes de cobre en el suelo fue mayor a la firmeza de los ensayos con niveles suficientes (Figura 22). Este resultado es contradictorio con el resultado obtenido en fruto machucado para el mismo periodo de análisis (Figura 21). Ello puede implicar que la firmeza no es un indicador del efecto de machucado y además, que la firmeza puede estar influida por otros factores más relevantes que la deficiencia de Cu.

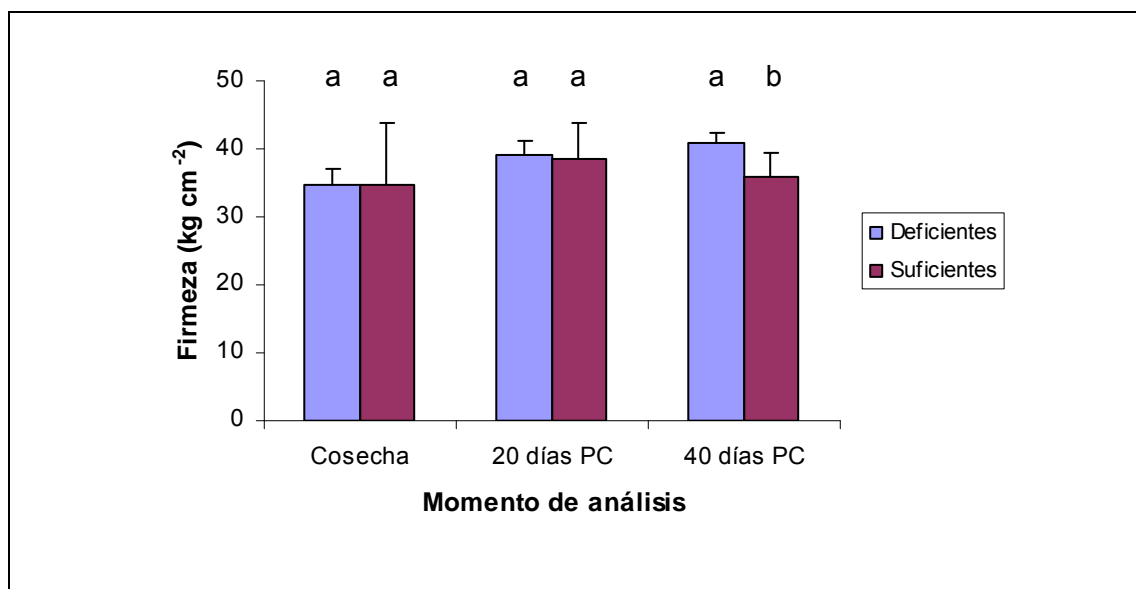


FIGURA 22 Efecto del nivel de cobre del suelo sobre la firmeza de frutos de arándano a la cosecha y en la poscosecha (20 y 40 días).

(Letras distintas indican diferencias en la firmeza entre ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, evaluada en cada momento de análisis en particular. Barras de error corresponden a desviación estándar).

De esta forma, Sandford *et al.* (1991) y Nesmith *et al.* (2002), citados por NÚÑEZ *et al.* (2008), mostraron que los daños mecánicos y las altas temperaturas incrementan rápidamente el deterioro de los frutos de arándano, lo cual propicia pérdidas de peso y de firmeza de los mismos. Valero y Ruiz (2007), citados por ZAPATA *et al.* (2010), señalan que la firmeza depende del estado en que se encuentre la fruta al momento de la cosecha, de la temperatura y de la forma en que se almacene. Además, según lo señalado anteriormente por HIRZEL (2011), la firmeza del fruto está determinada por K, Ca y N

Debe considerarse que la diferencia en la firmeza entre frutos de ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo que se presentó a los 40 días de poscosecha, pudo deberse, además de lo mencionado anteriormente, a otros factores propios del manejo del cultivo, que puedan haberse ejecutado en paños específicos dentro de los huertos y que no hayan sido detectados oportunamente en este estudio. Dentro de ellos, habría que considerar aplicaciones de productos que contengan cobre (no con función fertilizante, sino para el tratamiento de enfermedades de origen fúngico y/o bacteriano), entre otros. Esto pudo haber afectado la firmeza de los frutos, de tal manera que se manifestara el efecto a los 40 días de poscosecha y no antes.

Es importante señalar que es necesario realizar otros estudios para determinar qué factor efectivamente afectó la firmeza de los frutos a los 40 días de poscosecha, pudiéndose considerar las inferencias expuestas anteriormente u otras propias del manejo del huerto.

Al evaluar el efecto de la época de poscosecha y del nivel de cobre en el suelo sobre la firmeza de los frutos, a través de un ANDEVA de dos vías, se determinó que la época de poscosecha fue responsable del 52,6% de la variación de los datos, y que el nivel de cobre fue responsable de sólo un 3,2% de esta variación. Sin embargo, para ambos factores evaluados, el efecto no fue considerado significativo.

Así mismo, en un análisis de comparación entre todos los niveles de cobre del suelo encontrados en este estudio y la firmeza de los frutos (calculada como el promedio de 10 mediciones por cada muestra o repetición), no se observó una relación entre las variables. Es decir, a medida que mayor fue el nivel de cobre presente en el suelo, la

firmeza de los frutos no fue mayor, sino se mantuvo relativamente constante, en la cosecha y a los 20 y 40 días de poscosecha (Figura 23).

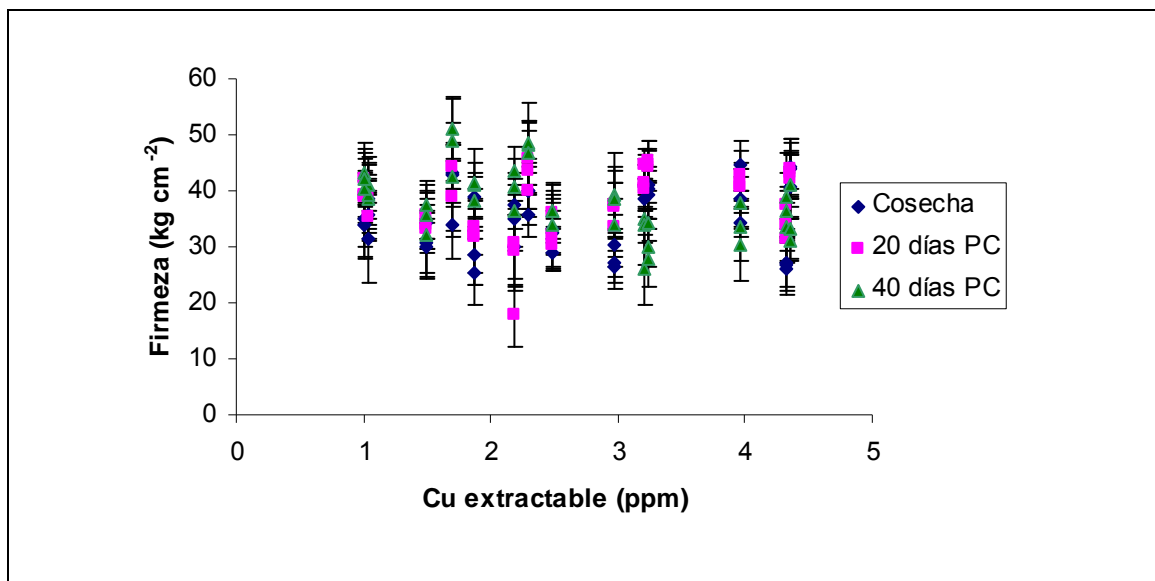


FIGURA 23 Relación entre el nivel de cobre en el suelo y la firmeza de frutos de arándano a la cosecha y a los 20 y 40 días de poscosecha.

(Barras de error corresponden a la desviación estándar).

4.4.5 Razón entre sólidos solubles y acidez titulable. Al evaluar la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable obtenida en los ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, no se observó una relación entre estas variables, ni al momento de la cosecha ni a los 20 y 40 días de poscosecha (Figura 24). Es decir, la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable, obtenida en cada momento de análisis en particular, no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo. De esta forma, este parámetro de calidad no fue dependiente del nivel de cobre en el suelo, en el rango evaluado.

Así mismo, en un análisis comparativo entre todos los niveles de cobre en el suelo encontrados en este estudio (sin agrupar en deficientes y suficientes) y la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable, obtenida en cada época de poscosecha, no se observó una relación entre ambas variables. Es decir, a medida que fue mayor el nivel

de cobre en el suelo, la relación entre los sólidos solubles y la acidez en general no fue mayor, sino que presentó fluctuaciones (Figura 25).

Según Ballington *et al.* (1984), citados por BARRIOS (2007), la variabilidad entre índices de madurez ocurre entre especies y cultivares. Además, indican una importante variación en la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable entre algunas variedades de arándano. Para determinar si se presentaron diferencias estadísticas en esta razón entre las variedades Brigitta y Elliot, en los diferentes momentos de análisis (cosecha y 20 y 40 días de poscosecha) se realizó un ANDEVA de dos vías, análisis que determinó que se presentaron diferencias altamente significativas entre variedades, presentando una mayor razón entre sólidos solubles y acidez titulable los ensayos de la variedad Brigitta. Específicamente, al momento de la cosecha, esta razón en la variedad Brigitta fue un 10% superior con respecto a Elliot, y a los 20 y 40 días de poscosecha, un 21% y 22% superior, respectivamente.

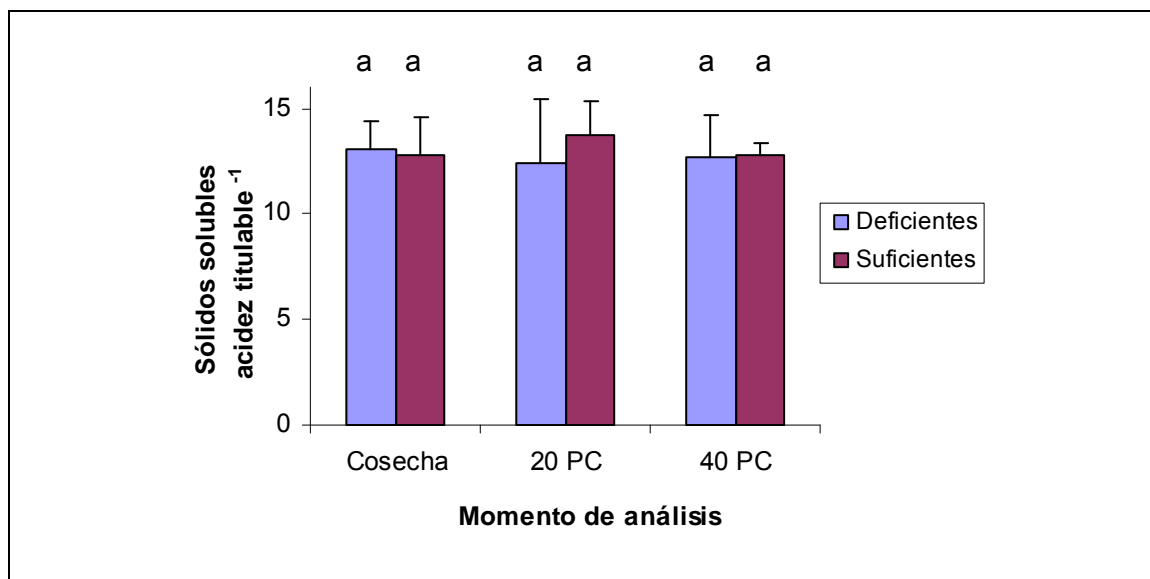


FIGURA 24 Efecto del nivel de cobre del suelo sobre la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable de frutos de arándano a la cosecha y a los 20 y 40 días de poscosecha.

(Letras distintas indican diferencias en la relación entre los sólidos solubles y la acidez entre ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, evaluadas en cada momento de análisis en particular. Barras de error corresponden a la desviación estándar).

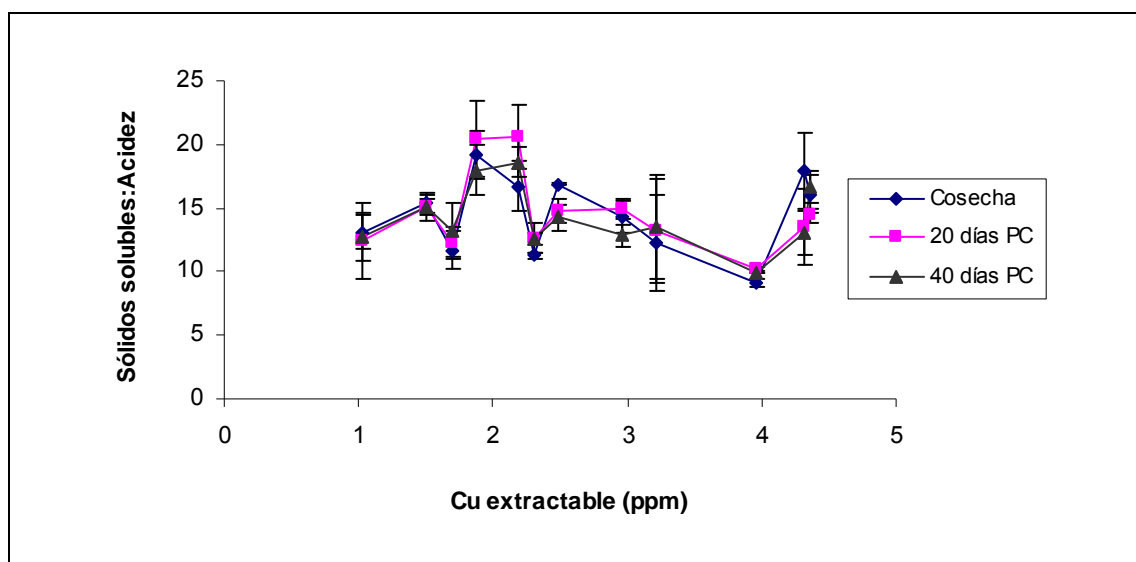


FIGURA 25 Relación entre el nivel de cobre en el suelo y la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable, medida en la cosecha y en la poscosecha (20 y 40 días).

(Barras de error corresponden a la desviación estándar).

5 CONCLUSIONES

A continuación se da respuesta a la hipótesis planteada y se presentan las conclusiones desprendidas de los objetivos evaluados, válidas bajo las condiciones en que se llevó a cabo la presente investigación.

- Los resultados obtenidos indican que el nivel de cobre en el suelo posee un efecto sobre el rendimiento del cultivo del arándano. Sin embargo, no se detectó un efecto en la calidad de los frutos en cosecha y poscosecha, por lo que la hipótesis sólo se acepta para el caso del rendimiento del cultivo.
- El análisis de suelo permite detectar un nivel crítico de Cu extractable en el suelo, por sobre el cual el rendimiento no se afectó y que se mantiene relativamente constante cuando los niveles de cobre fueron superiores a este nivel crítico. Este nivel crítico de cobre en el suelo fue de 1,8 ppm.
- La concentración de cobre foliar disminuyó al transcurrir la temporada de cultivo hasta el final de la cosecha de frutos. Sin embargo, el muestreo realizado posterior a la cosecha en la variedad Elliot, mostró aumentos significativos en el nivel de Cu en las plantas.
- La mayor diferencia en la concentración de cobre foliar entre ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo se presentó en los últimos muestreos, realizados en febrero, marzo y abril, siendo mayor esta diferencia en los meses de marzo y abril para la variedad Brigitta y en abril para la variedad Elliot; por lo tanto, el momento óptimo para realizar el muestreo foliar se encontraría en estos meses.
- Existe una relación directa positiva entre el nivel de cobre en el suelo y la concentración de cobre foliar, tanto en las mediciones foliares realizadas en marzo como para las realizadas en abril.
- El nivel crítico de cobre en el tejido foliar correspondió a 2,9 ppm, para los niveles foliares medidos en marzo y 4,1 ppm para los niveles medidos en abril, permitiendo este último diferenciar niveles de deficiencia y suficiencia de cobre

en el suelo. Por lo tanto, en el mes de abril sería el momento óptimo para realizar un muestreo foliar de cobre.

- En general, el nivel de cobre en el suelo no afectó los parámetros de calidad, ni en la cosecha ni a los 20 y 40 días de poscosecha. Se presentaron excepciones a los 40 días de poscosecha, momento en que el porcentaje de frutos machucados fue mayor en los ensayos con niveles deficientes de cobre en el suelo, siendo la otra excepción la firmeza de los frutos, la cual fue mayor en los ensayos con niveles deficientes de cobre en el suelo.

6 BIBLIOGRAFIA

- AZÓCAR, J. 2007. Los berries sumarán US\$ 1.000 millones en exportaciones en 2016. (On line). Berries of Chile.
<<http://berriesofchilenoticias.blogspot.com/2007/11/los-berries-sumarn-us-1000-millones-en.html>> (1 dic. 2011).
- BAÑADOS, P. 2005. Fisiología, Poda y Nutrición del Arándano. (On line). Seminario Asoex 2005.
<http://www.ptihuasco.cl/indicador/documento/biblioteca_1077.pdf>. (01 nov. 2011).
- BARRIOS, J. 2007. Efectos sobre las características físicas y químicas de frutos de arándano cv. Elliot (*Vaccinium corymbosum* L) bajo mallaje de sombra para el control de la madurez. (On line). Tesis M. Sc. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 83 p.
<<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/egb275e/doc/egb275e.pdf>>. (30 oct. 2011).
- BERNIER, R. (ed.). 1999. Curso de Capacitación para Operadores del Programa de Recuperación de Suelos Degradados INDAP Décima Región. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Remehue. Osorno, Agosto- Septiembre 1999. Serie Actas N° 2. 119 p.
- BETANZO, C. 2005. Evaluación de diferentes fungicidas para el control de *Botrytis cinerea* Pers. ex Fr., agente causal del “Moho gris” en un huerto de arándano alto o “highbush” (*Vaccinium corymbosum* L.) de la IX Región. (On line). Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 85 p. <<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/fab562e/doc/fab562e.pdf>>. (12 mar. 2012).
- BRUNO, Y. 2008. Arándanos: situación y perspectivas. (On line). Anuario 2008 – OPYPA.
<<http://www.mgap.gub.uy/opypa/ANUARIOS/Anuario08/material/pdf/16.pdf>>. (2 jul. 2010).
- CABEZA, R.; PINOCHET, D.; MAC DONALD, R.; WELDT D.; GÓMEZ, L.; FREZ, F. y VEGA, D. 2005. Evaluación de la retención de cobre en tres andisoles y un alfisol del sur de Chile. (On line). Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal (Chile) 5 (1): 8-14.
<<http://mingaonline.uach.cl/pdf/rcsuelo/v5n1/art02.pdf>>. (5 jul. 2011).
- CORDERO, A. y RAMÍREZ, G. 1979. Acumulamiento de cobre en los suelos del pacífico sur de Costa Rica y sus efectos detrimentales en la agricultura. (On line). Agronomía Costarricense 3 (1): 63 – 78.
<http://www.mag.go.cr/rev_agr/v03n01_063.pdf>. (5 sept. 2011).

- CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES (IREN) y UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE. 1978. Estudio de suelos de la Provincia de Valdivia. Estudio realizado en Convenio IREN-Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Suelos y Abonos. A Escala 1:50.000. Valdivia. 178 p.
- CHILE, DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. 2011. Anuarios climatológicos 1920 - 2009. (On line). Dirección General de Aeronáutica Civil. Dirección Meteorológica de Chile. Subdepartamento Climatología y Meteorología Aplicada. <<http://164.77.222.61/climatologia/>>. (10 ene. 2012).
- CHILE, INSTITUTO DE DESARROLLO AGROPECUARIO (INDAP). 2005. Producción y Mercado del Arándano. (On line). Estrategias Regionales de Competitividad por Rubro. Biblioteca. Documentos. <http://beta1.indap.cl/Docs/Documentos/Estrategias%20Regionales%20Competitividad%20por%20Rubro/Estrategias%20Regionales%202005/REGION_06/9Arandanos-Produccion.Mercado.pdf>. (2 jul. 2010).
-
- _____. 2009a. Cultivos de arándanos. (On line). Biblioteca. Fruticultura. <<http://beta1.indap.cl/Docs/Documentos/Fruticultura/Ar%C3%A1ndano/Informe%20cultivo%20arandanos.pdf>>. (16 jun. 2010).
-
- _____. 2009b. El cultivo del arándano. (On line). Biblioteca. Fruticultura. <http://beta1.indap.cl/Docs/Documentos/Fruticultura/Ar%C3%A1ndano/el_cultivo_del_arandano.pdf>. (17 jun. 2010).
- CHILE, OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS (ODEPA). 2011. Boletín de Precios y Mercados de Berries 2011. (On line). Boletines de precios y mercados de berries elaborado por Iconsulting y ProChile de la Región del Maule. Boletín N° 13. <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/agrodatos/berries/boleprochi_1311.pdf>. (1 abr. 2012).
- CHILEAN BLUEBERRY COMMITTEE. 2010. Regiones productivas. (On line). Arándanos chilenos. <http://comitedearandanos.cl/2010/spanish/regiones_productivas.php>. (3 mar. 2012).
- CONTRERAS, M. 2010. Efecto de la aplicación de CPPU sobre calidad de fruta en arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivar Elliott. (On line). Tesis Lic. Agr. Temuco. Universidad de La Frontera, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. 80 p. <<http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/efecto-aplicacion-cppu-fruta-arandano-alto/efecto-aplicacion-cppu-fruta-arandano-alto.pdf>>. (30 oct. 2011)
- DINAMARCA, J. 2005. Arándanos. Producción y mercado. (On line). Instituto de Desarrollo Agropecuario. <http://beta1.indap.cl/Docs/Documentos/Estrategias%20Regionales%20Competitividad%20por%20Rubro/Estrategias%20Regionales%202005/REGION_06/11Arandanos-ExposicionEspecialista.pdf>. (16 jun. 2010).

- DOMINGUEZ, A. 2011. Resultados y Proyecciones de la Industria de los Berries. (On line). Chilealimentos <http://www.chilealimentos.com/medios/Servicios/Seminarios/2011/Seminario_Berries_2011/Dominguez2011inauguracion.pdf>. (10 dic. 2011).
- FORBES, P.; MANGAS, E. y PAGANO, N. 2009. Diseño y Evaluación de Proyectos Agroindustriales. Producción de arándanos. (On line). Mem. Ing. Agr. Santa Rosa. Universidad de La Pampa, Facultad de Agronomía. 67 p. <<http://www.agro.unlpam.edu.ar/licenciatura/disenio/producciondearandanos.pdf>>. (2 jul. 2010).
- HANSON, E. y HANCOCK, J. 2006. Managing the Nutrition of Highbush Blueberries. (On line). Extension Bulletin E-2011. Michigan State University. Extension. <<http://archive.lib.msu.edu/DMC/Ag.%20Ext.%202007-Chelsie/PDF/e2011-1996.pdf>>. (oct. 2011).
- HART, J.; STRIK, B.; WHITE, L. y YANG, W. 2006. Nutrient Management for Blueberries in Oregon. Nutrient Management Guide. Oregon State University. Extension Service. 14 p.
- HAVLIN, J.; BEATON, J.; TISDALE, S. y NELSON, W. 1999. Soil Fertility and Fertilizers; An introduction to nutrient management. 6th ed. New Jersey. Prentice Hall. 499 p.
- HIRZEL, J. 2011. Acumulación de nutrientes en frutos de arándano. (On line). Estudio prospectivo en huerto comercial. Redagícola. Sección Nutrición. <<http://www.redagricola.com/noticia/acumulacion-de-nutrientes-en-frutos-de-arandano>>. (12 nov. 2011).
- IBÁÑEZ, J. 2008. Los Suelos de Chile y su Geografía. (On line). Madrimasd. <<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/06/01/93482>>. (12 ene. 2012).
- KIRKBY, E. y RÖMHELD, V. 2007. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad; (Segunda Parte). (On line). International Plant Nutrition Institute. <[http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/FEB8DB4F5AFB8FF50525748300700842/\\$file/Micronutrientes+en+la+Fisiolog%C3%ADa+de+las+Plantas+II+Parte.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/FEB8DB4F5AFB8FF50525748300700842/$file/Micronutrientes+en+la+Fisiolog%C3%ADa+de+las+Plantas+II+Parte.pdf)>. (4 nov. 2011).
- KONG, J. 2009. Análisis Económico del Rubro Berries. (On line). Consorcio Tecnológico de la Fruta. <<http://www.centrotecnologicoberriesdelmaule.cl/documentos/1.pdf>>. (2 jul. 2010).
- KREWER, G. y RUTER, J. 2012. Fertilizing Highbush Blueberries in Pine Bark Beds. (On line). Publications. College of Agricultural and Environmental Sciences. Cooperative Extension. The University of Georgia. <http://www.caes.uga.edu/applications/publications/files/pdf/B%201291_3.PDF>. (15 abr. 2012).
- LEYTON, M. y RODRÍGUEZ, A. 2010. Prospección y exportación de arándanos frescos al mercado estado unidense. (On line). Mem. Ing. Com. Talca. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Empresariales. 112 p.

- <<http://ceni.utralca.cl/pdf/memorias/terminadas/ProspeccionyExportaciondeArandanosFrescosalMercadoEstadounidense.pdf>>. (2 jul. 2010).
- MAGGA TRANSFORMATION CAPITAL. 2005. Plan de Negocios Proyecto Arándanos. Resumen de información general. (On line). Magga Transformation Capital S.A. Agronegocios. <http://www.magga.com.ar/imagenes/arandanos_presentacion_1.pdf>. (2 jul. 2010).
- MARÍN, M. y PÉREZ, R. 1992. Importancia del análisis foliar en la evaluación de la fertilidad de suelos en Venezuela. Una revisión. (On line). Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad de Zulia 9 (1): 1 – 15. <http://www.revfacagronluz.org.ve/v09_1/0901z010.html>. (2 oct. 2011).
- MARSCHNER, H. 1995. Cobre. (On line). Funciones de los nutrientes minerales: los micronutrientes. Nutrición mineral en plantas superiores. <<http://fitonutricion.awardspace.biz/contenido/09-03.html>>. (12 dic. 2011).
- MELSTED, S. y PECK, T. 1977. The Mitscherlich-Bray Growth Function. In Peck, T.; Cope, J. y Whitney D (eds). 1977. Soil testing: Correlating and Interpreting the Analytical Results. ASA Special Publication Number 29. pp: 1 – 18.
- NOVOA, R.; VILLASECA, S.; DEL CANTO, P.; ROUANET, J.; SIERRA, C. y DEL POZO, A. 1989. Mapa agroclimático de Chile. Santiago. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Ministerio de Agricultura. 221 p.
- NÚÑEZ, A.; SÁNCHEZ, E.; RUIZ, J. y SCOTT, D. 2008. Calidad de poscosecha en cultivares de arándano (*Vaccinium* sp.) sometidos a períodos de prealmacenamiento y temperaturas. (On line). Agricultura Técnica en México. 34 (4): 453 – 457. <<http://scielo.unam.mx/pdf/agritm/v34n4/v34n4a8.pdf>>. (5 oct. 2011).
- OLIVARES, R. 2009. Cultivares de Arándanos para la Zona Norte de Chile. (On line). Nuestros Berries. Driscoll's de Chile. S.A. <http://bp.driscolls.cl/plataformas/web_corporativa_v2/presentacion/nuestros_berries.aspx?id=10>. (7 ene. 2012).
- PÉREZ, D. y MAZZONE, L. 2006. Arándano. Mercados internacionales. (On line). Estación Experimental Agroindustrial Obispo Columbus. <<http://www.eeaoc.org.ar/economia/pearandanos02.pdf>>. (17 jun. 2010).
- REGALADO, C.; MUÑOZ, R.; SOCORRO, A. y HERNÁNDEZ, J. 2001. ¿Por qué los suelos volcánicos no siguen la ecuación de topp?. (On line). Temas de Investigación en Zona no saturada. Instituto Canario Investigaciones Agrarias (ICIA), Departamento de Suelos, y Universidad La Laguna, Departamento de Edafología. <http://abe.ufl.edu/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/temas_de_investigacion_v5/15.pdf>. (14 jul. 2010).
- ROSAS, F. 2001. Berries en Chile, situación actual y perspectivas. In: Chile, Fundación para la Innovación Agraria (FIA). 2002. Estrategia de innovación agraria para producción de berries. Santiago. pp: 9 – 32.

- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; GREZ, R. y MORA, M. 2006a. Acidificación de los suelos volcánicos de Chile. (On line). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
<<http://www.inia.cl/medios/Descargas/CR/Platina/ResumenesCongresos/2006/2006-001-sadzawka.pdf>>. (20 oct. 2011).
-
- _____; FLORES, H. y NEAMAN, A. 2006b. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie Actas INIA – N° 34. Santiago. 164 p.
-
- _____, DEMANET, R.; FLORES, H.; GREZ, R.; MORA, M. y NEAMAN, A. 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda edición. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie Actas INIA – N° 40. Santiago. 140 p.
- SÁNCHEZ, E. 2006. Diagnóstico y proyección de la producción de arándanos en la zona sur de Chile. (On line). Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 81 p. <<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/fas211d/doc/fas211d.pdf>>. (17 jun. 2010).
- SERRI, H. 2009. Evaluación del comportamiento de las principales variedades de arándano plantadas en Chile y su potencial productivo en las distintas regiones del país. (On line). Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía. <http://asoex.cl/AsoexWeb/Biblioteca.asp?Id_Carpeta=141&portada=1&Camino=91%7CSEMINARIOS/139%7C2009/141%7CSEMINARIO%20AR%C1NDANO%20-%20CICLO%20II%20-%20MAYO%202009>. (13 feb. 2012).
- SOTO, R.; JORQUERA, R. y GUERRA, E. 2010. Informe Centro de Competitividad del Maule; Arándanos. (On line). Universidad de Talca, Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), Gobierno Regional del Maule y Agencia Regional Desarrollo Productivo. <http://www.centrodecompetitividaddelmaule.cl/pdf/cluster_potenciales/arandanos.pdf>. (5 dic. 2011).
- SUDZUKI, F. 2002. Cultivo de frutales menores. 7ª ed. Santiago. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, Universidad de Chile. Universitaria. 194 p.
- SANTIAGO, UNIVERSIDAD DE CHILE, FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS. 2002. Propiedades físicas de los suelos (1). (On line). Repositorio de Biblioteca Digital. Ciencias Agronómicas. <http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_agronomicas/c200211151639edafo_propfis1.pdf>. (14 jul. 2010).
- TOSSO, J. 1985. Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. 723 p.
- VIDAL, I. 2005. Fertirriego en berries. (On line). Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. <<http://documentsearch.org/read?=http://riegofrutilla.110mb.com/Fertirriego%20berries.pdf>>. (10 sept. 2011).
- YANG, W. 2002. Issues in leaf tissue and soil testing. Oregon Blueberry Newsletter. (On line). Oregon State University. Extension Service. North Willamette Research and Extension Center. <<http://berrygrape.org/files/newsletters/blueberry/2002-09.pdf>>. (10 ago. 2011).

ZAPATA, L.; MALLARET, A.; QUINTEROS, C.; LESA, C.; VUARANT, C.; RIVADENEIRA, M. y GERARD, J. 2010. Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. (On line). Ciencia, Docencia y Tecnología (Argentina) 21 (41): 159 – 171. Universidad Nacional de Entre Ríos. <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/145/14515335008.pdf>>. (8 nov. 2011).

7 ANEXOS

ANEXO 1 Análisis químico de suelos correspondientes al diagnóstico nutricional de los huertos asociados.

Resultados analíticos		Cuarteles							
		A	B	C	D	E	F	G	H
pHa	(agua)	5,9	5,6	4,7	5,4	5,2	5,1	5,7	5,7
pHCa	(CaCl ₂)	5,2	5,1	4,3	4,6	4,4	4,3	5	4,9
Materia orgánica	(%)	12,2	15	17,3	7,4	7,0	7,9	17,3	16,9
P	(mg/kg)	10,3	12	18,2	30,4	24,9	29,2	12,2	6,2
Bases	(Cmol+/kgss)	5,19	5,57	0,89	8,78	6,44	6,64	7,58	4,67
Al intercambiable	(Cmol+/kgss)	0,06	0,14	1,27	0,62	1,28	1,3	0,09	0,13
S	(mg/kg)	43	37,2	10,2	11,4	12,8	10,9	32,1	25,6
Cu	(mg/kg)	0,87	1,66	1,02	2,48	2,28	1,67	1,02	0,55

ANEXO 2 Rendimiento total temporada 2009/2010 obtenido en cada uno de los cuarteles estudiados.

CUARTEL A (4) *						CUARTEL B (4) *				
Repetición	Total exportable	Total descarte	Total general	Rendimiento promedio	Rendimiento total	Total exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1	15,83	0,12	15,95	1,59	7.087	21,63	0,91	22,54	2,25	10.016
2	12,72	0,00	12,72	1,27	5.651	26,04	2,03	28,07	2,81	12.473
3	22,15	0,07	22,22	2,22	9.874	24,65	0,61	25,26	2,53	11.226
4	14,73	0,00	14,73	1,47	6.544	25,10	2,17	27,27	2,73	12.119
5	23,76	0,85	24,61	2,46	10.936	24,41	2,26	26,67	2,67	11.852
6	17,30	0,00	17,30	1,73	7.687	16,85	0,91	17,77	1,78	7.896
CUARTEL C (4) **						CUARTEL D (7)				
Repetición	Total exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total	Total Exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1	28,23	4,69	32,92	3,29	11.756	22,90	2,56	25,46	2,55	8.485
2	28,03	5,09	33,12	3,31	11.830	18,96	2,16	21,12	2,11	7.039
3	34,87	4,77	39,64	3,96	14.156	17,90	4,66	22,56	2,26	7.519
4	39,30	3,53	42,83	4,28	15.295	13,20	2,07	15,27	1,53	5.089
5	29,07	4,37	33,44	3,34	11.944	14,12	2,46	16,58	1,66	5.525
6	24,40	3,90	28,30	2,83	10.108	15,81	1,29	17,10	1,71	5.699

ANEXO 2 (continuación).

CUARTEL E (6)						CUARTEL F (7)				
Repetición	Total exportable	Total descarte	Total general	Rendimiento promedio	Rendimiento total	Total exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1	42,89	6,33	49,22	4,92	16.404	30,46	2,28	32,74	3,27	10.913
2	34,01	4,95	38,96	3,90	12.985	24,91	2,17	27,09	2,71	9.029
3	32,38	4,63	37,01	3,70	12.336	43,10	4,82	47,92	4,79	15.973
4	40,17	5,82	45,99	4,60	15.328	28,22	2,52	30,74	3,07	10.246
5	30,60	4,44	35,04	3,50	11.679	24,54	2,58	27,12	2,71	9.039
6	36,85	5,24	42,09	4,21	14.028	35,39	3,54	38,93	3,89	12.975
CUARTEL G (4) ***						CUARTEL H (6)				
Repetición	Total exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total	Total Exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1	11,73	4,12	15,85	1,58	7.545	37,29	8,72	46,00	7,67	25.554
2	7,66	2,10	9,76	0,98	4.647	32,91	12,70	45,62	4,56	15.203
3	13,55	9,00	22,56	2,26	10.742	52,49	13,61	66,10	6,61	22.032
4	8,24	2,90	11,14	1,11	5.304	38,32	14,27	52,59	5,84	19.476
5	14,63	6,13	20,76	2,08	9.885	48,88	11,79	60,67	6,07	20.221
6	11,64	4,07	15,71	1,57	7.480	52,38	14,32	66,70	7,41	24.701

Valores entre paréntesis junto al nombre del cuartel representan el número total de cosechas realizadas en la temporada.

El marco de plantación de los cuarteles fue 3 x 1, excepto: * 3 x 0,75; ** 3,5 x 0,8; *** 3 x 0,7.

El número de plantas presentes en cada una de las repeticiones fue 10, excepto en las repeticiones 1, 4 y 6 del cuartel H, en las cuales el número de plantas fue 6, 9 y 9, respectivamente.

ANEXO 3 Análisis químico de los sitios estudiados (repeticiones 1, 2, y 3 corresponden al sitio 1, y repeticiones 4, 5 y 6 al sitio 2), realizados al final de la temporada.

Cuartel	Repeticiones	pH (agua)	pH (CaCl ₂)	Materia orgánica (%)	P-Olsen (mg/kg)	Bases (cmol+/kgss)	Al intercambiable (cmol+/kgss)	S (mg/kg)	Cu (mg/kg)
A	1-2-3	5,56	5,16	11,60	19,20	5,45	0,11	78,50	2,45
	4-5-6	5,56	5,13	13,20	16,50	5,83	0,11	84,00	2,74
B	1-2-3	5,29	4,93	17,02	45,60	4,95	0,45	77,50	1,70
	4-5-6	4,96	4,63	16,30	19,90	4,12	0,38	77,50	2,30
C	1-2-3	4,70	4,28	19,30	17,50	2,59	1,04	10,40	2,19
	4-5-6	4,88	4,49	18,90	19,10	3,90	0,76	16,00	1,87
D	1-2-3	5,39	5,03	4,80	31,30	11,60	0,27	18,60	3,24
	4-5-6	5,22	4,90	4,70	35,50	9,16	0,23	25,90	4,36
E	1-2-3	5,16	4,62	7,10	25,50	7,42	0,79	30,00	3,21
	4-5-6	5,13	4,75	7,30	22,00	7,88	0,62	28,60	3,96
F	1-2-3	5,17	4,58	7,40	25,10	7,13	0,75	21,30	2,97
	4-5-6	5,35	4,68	7,40	21,70	7,98	0,47	18,00	4,32
G	1-2-3	5,09	4,78	15,20	11,30	6,05	0,11	26,80	1,50
	4-5-6	5,21	4,83	17,80	24,00	8,73	0,12	31,50	2,49
H	1-2-3	5,08	4,75	16,00	9,50	4,10	0,19	37,00	1,03
	4-5-6	15,70	60,2	5,30	0,05	3,89	3,50	0,58	1,01

ANEXO 4 Concentraciones foliares de Cu obtenidas de cada una de las repeticiones para cada uno de los muestreos (ppm).

Cuartel	Repeticón	Concentracón foliar final					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
A	1	4,47	5,03	2,88	2,38	2,91	5,88
	2	4,91	4,10	3,81	3,97	3,25	6,75
	3	4,91	5,50	4,75	4,72	2,75	6,00
	4	-	-	-	-	-	6,06
	5	-	-	-	-	-	5,94
	6	-	-	-	-	-	5,56
B	1	4,78	4,13	3,63	3,81	3,53	3,97
	2	4,38	5,03	3,09	2,25	3,66	4,28
	3	3,78	4,19	1,31	2,75	3,31	3,56
	4	-	-	-	-	-	4,16
	5	-	-	-	-	-	3,63
	6	-	-	-	-	-	3,72
C	1	9,16	8,97	6,09	12,41	15,63	13,06
	2	10,72	6,50	6,13	9,72	12,63	13,31
	3	8,34	7,34	6,34	6,38	16,94	14,97
	4	-	-	-	-	-	15,78
	5	-	-	-	-	-	14,13
	6	-	-	-	-	-	14,94
D	1	3,91	3,72	1,69	0,50	2,31	2,91
	2	4,34	3,44	2,06	0,25	2,22	2,97
	3	3,66	4,00	2,38	0,44	1,88	3,13
	4	-	-	-	-	-	3,47
	5	-	-	-	-	-	3,44
	6	-	-	-	-	-	3,03
E	1	3,91	3,88	2,66	0,50	1,38	4,03
	2	4,38	3,84	2,50	0,38	1,13	3,78
	3	3,69	3,25	1,66	2,94	1,94	3,78
	4	-	-	-	-	-	3,88
	5	-	-	-	-	-	3,84
	6	-	-	-	-	-	3,72

ANEXO 4 (continuación)

Cuartel	Repetición	Concentración foliar final					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
F	1	4,09	3,19	1,38	4,16	3,09	6,63
	2	3,72	3,06	0,72	3,88	3,69	7,00
	3	4,19	3,41	2,25	3,47	4,19	6,03
	4	-	-	-	-	-	5,91
	5	-	-	-	-	-	6,88
	6	-	-	-	-	-	5,91
G	1	2,97	3,78	3,66	2,53	0,81	3,53
	2	3,03	3,69	4,31	3,13	1,41	2,75
	3	3,31	5,03	5,75	2,88	2,19	4,06
	4	-	-	-	-	-	2,19
	5	-	-	-	-	-	4,41
	6	-	-	-	-	-	4,34
H	1	3,84	4,03	3,50	1,88	1,78	4,38
	2	5,44	4,50	3,31	1,31	2,63	4,88
	3	4,75	4,00	3,88	1,03	2,25	2,33
	4	-	-	-	-	-	4,50
	5	-	-	-	-	-	5,06
	6	-	-	-	-	-	4,53

M1: Muestreo 15/12/09; M2: Muestreo 05/01/10; M3: Muestreo 25/01/10; M4: Muestreo 15/02/10; M5: Muestreo 09/03/10; M6: 13/04/10.

Valores destacados en negrita no fueron considerados en los análisis, ya que no se encontraban en el rango de valores en el cual estaba el resto de los niveles encontrados en cada cuartel.

(-): Mediciones no se realizaron en los determinados muestreos.

ANEXO 5 Resultados de los análisis de calidad de frutos realizados en la cosecha y en la poscosecha.

CUARTEL B													
EVALUACIONES A LA COSECHA													
Repetición	Calibre (N° frutos)							Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total	Calibre modal	< 10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total
1	0	28	57	0	0	85	15-20	0,00	36,80	127,60	0,00	0,00	164,40
2	0	30	50	0	0	80	15-20	0,00	40,20	111,30	0,00	0,00	151,50
3	0	21	62	3	0	86	15-20	0,00	25,80	130,90	10,90	0,00	167,60
4	0	45	51	1	0	97	15-20	0,00	56,80	111,00	3,90	0,00	171,70
5	0	29	61	0	0	90	15-20	0,00	38,70	131,10	0,00	0,00	169,80
6	0	20	60	2	0	82	15-20	0,00	28,40	124,60	6,80	0,00	159,80
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1	2,9	2,9	3,0	2,6	2,2	2,7	0,3	12					
2	2,3	2,0	1,7	2,6	2,1	2,1	0,3	16					
3	1,8	1,8	2,0	2,8	2,7	2,2	0,5	22					
4	1,5	1,8	1,7	2,2	1,7	1,8	0,3	15					
5	2,3	2,7	2,0	2,8	3,4	2,6	0,5	20					
6	2,6	2,7	2,9	3,1	2,7	2,8	0,2	7					
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza		
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Podrido	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas	
1	53	1	0	0	0	3	57	13,5	8,0	1,02	34,10	18	
2	43	5	0	0	0	2	50	12,2	8,2	1,05	43,05	12	
3	53	5	0	0	0	3	61	12,1	9,2	1,18	42,70	13	
4	45	0	0	3	0	3	51	12,7	8,8	1,13	35,80	11	
5	57	2	0	1	0	1	61	12,1	8,2	1,05	39,90	15	
6	56	3	0	0	0	1	60	12,0	8,5	1,09	39,90	11	

ANEXO 5 (continuación).

EVALUACIONES A LOS 20 DÍAS DE POSCOSECHA												
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	64	4	1	0	0	2	71	11,9	8,2	1,05	44,45	9
2	81	1	4	0	0	0	86	12,6	7,2	0,92	95,55	10
3	77	0	1	2	0	3	83	12,4	8,1	1,04	38,80	18
4	93	3	1	3	0	1	101	12,8	7,6	0,97	45,75	14
5	85	0	1	0	0	3	89	13,0	7,5	0,96	43,65	16
6	80	0	2	0	0	0	82	12,1	8,4	1,08	39,85	8
EVALUACIONES A LOS 40 DÍAS DE POSCOSECHA												
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	29	0	0	0	0	26	55	12,9	7,8	1,00	48,95	15
2	27	7	1	0	0	22	57	12,9	6,5	0,83	42,45	23
3	31	1	1	0	1	29	63	11,9	8,3	1,06	51,10	11
4	37	1	0	0	1	16	55	12,4	7,4	0,95	48,35	15
5	25	0	0	0	1	39	65	12,3	7,6	0,97	48,75	8
6	29	2	0	0	0	29	60	12,3	7,9	1,01	46,75	12

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL C													
EVALUACIONES A LA COSECHA													
Repetición	Calibre (N° frutos)							Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total	Calibre modal	< 10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total
1	0	2	61	5	0	68	15-20	0,00	2,90	150,40	17,90	0,00	171,20
2	0	5	45	10	0	60	15-20	0,00	6,74	119,82	37,66	0,00	164,22
3	0	3	65	5	0	73	15-20	0,00	3,80	153,00	18,40	0,00	175,20
4	0	4	67	3	0	74	15-20	0,00	5,29	158,95	10,70	0,00	174,94
5	0	2	55	8	0	65	15-20	0,00	2,50	141,60	27,50	0,00	171,60
6	0	8	60	6	0	74	15-20	0,00	11,09	143,15	28,91	0,00	183,15
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1	2,8	2,6	2,2	2,0	2,6	2,4	0,3	13					
2	2,0	3,8	3,1	3,1	2,2	2,8	0,8	27					
3	2,4	2,8	1,9	2,0	2,3	2,3	0,4	16					
4	1,9	2,8	3,2	2,0	1,6	2,3	0,7	29					
5	3,5	2,0	2,1	2,0	2,5	2,4	0,6	26					
6	2,0	2,7	2,8	2,8	2,6	2,6	0,3	13					
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza		
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Podrido	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas	
1	53	4	0	0	0	3	60	11,5	6,1	0,78	35,10	17	
2	45	0	0	0	0	0	45	12,7	5,9	0,76	30,00	19	
3	59	1	0	1	0	4	65	13,1	5,5	0,70	37,60	12	
4	66	0	0	0	0	1	67	13,2	5,7	0,73	25,50	23	
5	45	2	0	0	0	8	55	12,0	5,2	0,67	28,45	18	
6	60	0	0	0	0	0	60	14,0	5,1	0,65	38,95	9	

ANEXO 5 (continuación).

EVALUACIONES A LOS 20 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	45	18	0	0	4	4	71	13,4	5,6	0,72	30,60	25
2	30	28	0	0	2	0	60	14,4	4,8	0,61	29,35	25
3	48	25	0	0	0	3	76	13,4	5,3	0,68	17,85	31
4	41	29	0	0	0	1	71	15,6	5,2	0,67	31,85	27
5	61	15	1	0	2	1	80	13,9	5,3	0,68	33,40	14
6	50	14	0	0	0	1	65	13,1	5,9	0,76	32,00	21
EVALUACIONES A LOS 40 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	22	2	0	0	8	28	60	13,1	5,9	0,76	36,55	18
2	12	3	1	0	9	20	45	13,4	5,6	0,72	43,60	10
3	26	3	3	3	5	24	64	14,4	5,7	0,73	40,75	12
4	18	4	2	2	2	39	67	13,1	5,7	0,73	38,05	14
5	12	2	1	1	5	28	49	14,3	5,6	0,72	41,00	10
6	13	1	5	4	1	39	63	12,9	6,3	0,81	41,35	15

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL D													
EVALUACIONES A LA COSECHA													
Repetición	Calibre (N° frutos)							Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total	Calibre modal	< 10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total
1	0	105	22	0	0	127	10-15	0,00	123,40	41,80	0,00	0,00	165,20
2	0	59	58	0	0	117	10-15	0,00	71,80	109,50	0,00	0,00	181,30
3	0	66	54	0	0	120	10-15	0,00	81,37	103,95	0,00	0,00	185,32
4	0	96	39	0	0	135	10-15	0,00	103,55	71,42	0,00	0,00	174,97
5	0	49	52	0	0	101	15-20	0,00	60,50	94,30	0,00	0,00	154,80
6	0	84	44	0	0	128	10-15	0,00	101,90	77,50	0,00	0,00	179,40
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1	1,3	1,2	1,4	1,1	1,6	1,3	0,2	13					
2	0,9	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2	15					
3	1,3	1,2	1,4	1,1	0,8	1,2	0,2	19					
4	1,1	1,2	1,1	1,3	0,9	1,1	0,1	12					
5	2,1	1,5	1,7	1,5	1,6	1,7	0,2	15					
6	1,1	0,9	1,3	0,9	1,3	1,1	0,2	18					
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza		
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Podrido	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas	
1	105	0	0	0	0	0	105	13,3	6,5	0,83	39,35	11	
2	58	0	0	0	0	1	59	13,5	6,7	0,86	41,00	15	
3	66	0	0	0	0	0	66	13,6	7,0	0,90	40,50	9	
4	95	1	0	0	0	0	96	14,3	7,8	1,00	44,25	11	
5	50	0	0	0	0	2	52	13,5	6,2	0,79	40,65	14	
6	-	-	-	-	-	-	-	14,0	6,5	0,83	43,90	12	

ANEXO 5 (continuación).

EVALUACIONES A LOS 20 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	130	3	0	0	0	1	134	13,5	6,5	0,83	44,40	10
2	115	2	0	0	0	2	119	13,3	6,8	0,87	45,35	8
3	113	2	0	0	0	2	117	14,2	5,9	0,76	44,50	7
4	128	2	0	0	0	1	131	13,7	7,1	0,91	42,10	12
5	108	2	0	0	0	2	112	12,9	7,2	0,92	43,90	11
6	123	3	0	0	1	0	127	13,4	7,4	0,95	43,25	7
EVALUACIONES A LOS 40 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	107	2	0	0	0	2	111	12,5	5,2	0,67	29,85	11
2	45	7	0	0	0	0	52	12,6	5,8	0,74	28,00	18
3	52	7	1	0	0	0	60	12,8	6,4	0,82	34,45	10
4	90	2	0	0	4	18	114	13,9	7,1	0,91	31,25	12
5	49	1	0	0	0	10	60	13,2	5,9	0,76	41,15	14
6	102	6	4	0	4	2	118	14,4	6,5	0,83	33,35	16

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL E													
EVALUACIONES A LA COSECHA													
Repetición	Calibre (N° frutos)							Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total	Calibre modal	< 10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total
1	0	17	90	0	0	107	15-20	0,00	19,20	150,60	0,00	0,00	169,80
2	0	31	85	0	0	116	15-20	0,00	32,95	129,38	0,00	0,00	162,33
3	0	21	72	0	0	93	15-20	0,00	30,90	145,80	0,00	0,00	176,70
4	0	53	50	0	0	103	10-15	0,00	66,80	93,60	0,00	0,00	160,40
5	0	53	52	0	0	105	10-15	0,00	74,10	98,70	0,00	0,00	172,80
6	0	16	91	0	0	107	15-20	0,00	17,59	152,90	0,00	0,00	170,49
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1	2,0	1,8	2,3	1,8	1,8	1,9	0,2	11					
2	1,5	1,5	1,8	1,7	2,0	1,7	0,2	12					
3	1,8	1,9	1,6	2,1	1,9	1,9	0,2	10					
4	1,2	1,0	1,2	1,4	1,3	1,2	0,1	12					
5	1,5	1,4	1,2	1,4	1,6	1,4	0,1	10					
6	1,9	2,2	2,2	2,6	1,8	2,1	0,3	14					
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza		
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Podrido	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas	
1	79	10	0	0	0	1	90	11,7	10,4	1,33	40,80	9	
2	69	11	1	0	0	4	85	12,9	10,7	1,37	41,05	11	
3	69	0	0	0	0	3	72	11,4	10,7	1,37	38,70	9	
4	50	0	0	0	0	3	53	12,3	10,4	1,33	38,75	13	
5	46	4	1	0	0	2	53	11,5	9,6	1,23	34,45	8	
6	90	0	0	0	0	1	91	12,0	10,6	1,36	44,50	10	

ANEXO 5 (continuación).

EVALUACIONES A LOS 20 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos Solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	0	7	7	1	0	25	40	13,6	10,3	1,32	44,75	6
2	23	33	7	1	0	38	102	13,2	10,1	1,29	40,50	10
3	0	3	9	0	0	22	34	12,4	11,3	1,45	41,60	12
4	35	7	1	1	0	19	63	13,1	9,8	1,25	40,60	11
5	26	3	4	2	0	17	52	12,4	9,5	1,22	42,80	10
6	0	16	2	0	0	11	29	13,1	10,1	1,29	41,05	7
EVALUACIONES A LOS 40 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	16	19	13	1	7	15	71	14,0	10,0	1,28	34,95	12
2	20	30	30	0	5	12	97	12,8	11,0	1,41	25,90	24
3	16	15	13	0	2	7	53	13,3	10,5	1,34	33,80	21
4	17	22	19	2	0	4	64	12,2	9,6	1,23	30,30	21
5	13	18	26	0	0	11	68	13,9	11,0	1,41	33,75	19
6	13	19	30	0	0	9	71	13,2	10,4	1,33	37,80	12

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL F													
EVALUACIONES A LA COSECHA													
Repetición	Calibre (N° frutos)							Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total	Calibre modal	< 10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total
1	0	14	68	0	0	82	15-20	0,00	17,58	136,94	0,00	0,00	154,52
2	0	20	65	0	0	85	15-20	0,00	26,45	123,33	0,00	0,00	149,78
3	0	40	53	0	0	93	15-20	0,00	52,29	98,34	0,00	0,00	150,63
4	0	37	50	0	0	87	15-20	0,00	50,82	91,27	0,00	0,00	142,09
5	0	43	54	0	0	97	15-20	0,00	54,88	100,60	0,00	0,00	155,48
6	0	48	55	0	0	103	15-20	0,00	62,75	100,08	0,00	0,00	162,83
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1	1,9	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	0,1	5					
2	1,8	1,6	1,7	1,8	1,6	1,7	0,1	6					
3	1,8	2,0	1,7	1,8	1,7	1,8	0,1	7					
4	1,6	1,6	1,7	1,6	1,5	1,6	0,1	4					
5	1,8	1,5	2,0	1,9	1,7	1,8	0,2	11					
6	1,5	1,6	1,8	1,7	1,4	1,6	0,2	10					
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza		
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Podrido	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas	
1	60	3	0	1	0	4	68	12,6	6,5	0,83	26,50	11	
2	61	0	0	0	0	4	65	13,7	7,2	0,92	30,20	18	
3	49	0	0	0	0	4	53	12,3	7,5	0,96	27,25	17	
4	47	1	0	0	0	2	50	12,6	5,0	0,64	26,05	18	
5	49	3	0	0	0	2	54	12,7	6,9	0,88	26,75	17	
6	51	0	0	0	0	4	55	12,6	5,0	0,64	27,25	16	

ANEXO 5 (continuación).

EVALUACIONES A LOS 20 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	16	10	30	1	0	15	72	13,5	6,7	0,86	33,40	15
2	22	9	9	2	0	14	56	13,4	7,1	0,91	37,60	16
3	19	11	11	0	0	19	60	13,6	7,5	0,96	37,05	12
4	8	5	14	1	0	18	46	13,3	6,2	0,79	33,80	20
5	15	2	9	0	0	42	68	12,4	8,8	1,13	31,40	12
6	15	2	6	0	0	25	48	13,3	8,1	1,04	37,45	15
EVALUACIONES A LOS 40 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	8	8	14	0	2	23	55	13,8	8,1	1,04	34,05	22
2	17	1	16	0	1	30	65	14,1	8,2	1,05	39,35	19
3	25	3	7	1	1	25	62	12,1	8,0	1,02	38,75	14
4	15	1	13	0	2	19	50	11,0	7,6	0,97	36,55	9
5	13	5	34	0	1	28	81	13,6	7,1	0,91	33,65	13
6	10	1	23	0	0	26	60	13,8	8,3	1,06	38,90	20

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL G													
EVALUACIONES A LA COSECHA													
Repetición	Calibre (N° frutos)							Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total	Calibre modal	< 10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total
1	0	77	48	0	0	125	10-15	0,00	84,90	82,77	0,00	0,00	167,67
2	0	132	22	0	0	154	10-15	0,00	140,61	36,03	0,00	0,00	176,64
3	0	106	21	0	0	127	10-15	0,00	112,90	41,20	0,00	0,00	154,10
4	3	156	15	0	0	174	10-15	1,30	136,25	26,04	0,00	0,00	163,59
5	0	136	9	0	0	145	10-15	0,00	141,80	14,90	0,00	0,00	156,70
6	0	139	15	0	0	154	10-15	0,00	148,58	24,46	0,00	0,00	173,04
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1	1,1	1,1	1,0	1,2	1,4	1,2	0,2	13					
2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,0	4					
3	1,2	1,0	1,2	1,2	1,3	1,2	0,1	9					
4	0,8	0,7	0,6	1,0	1,2	0,9	0,2	28					
5	1,3	1,4	0,9	1,0	1,5	1,2	0,3	21					
6	0,7	0,9	1,3	1,2	1,1	1,0	0,2	23					
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza		
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Podrido	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas	
1	58	4	6	1	0	8	77	14,9	7,9	1,01	34,20	13	
2	110	8	4	0	0	10	132	14,7	7,1	0,91	30,70	17	
3	100	5	0	0	0	1	106	14,0	7,2	0,92	29,85	17	
4	119	24	7	0	0	6	156	15,2	7,0	0,90	33,25	23	
5	100	36	0	0	0	0	136	15,0	7,0	0,90	28,80	9	
6	123	5	3	1	0	7	139	14,5	6,7	0,86	32,65	12	

ANEXO 5 (continuación).

EVALUACIONES A LOS 20 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	18	33	91	0	0	9	151	14,7	7,8	1,00	33,90	7
2	32	47	40	0	0	36	155	15,0	7,4	0,95	33,20	13
3	42	16	46	0	1	11	116	14,1	7,5	0,96	35,60	17
4	33	57	32	0	1	22	145	15,3	7,5	0,96	35,95	15
5	47	19	33	0	0	16	115	13,9	7,7	0,99	32,10	18
6	45	39	31	0	1	7	123	13,4	7,3	0,93	30,35	15
EVALUACIONES A LOS 40 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	12	24	63	2	0	4	105	15,3	8,3	1,06	32,05	24
2	36	28	76	14	0	19	173	15,7	7,5	0,96	35,65	12
3	17	13	17	8	2	76	133	15,0	8,1	1,04	37,65	9
4	11	8	108	8	1	11	147	14,9	7,6	0,97	33,80	14
5	0	6	27	3	7	45	88	13,8	8,1	1,04	36,50	8
6	33	9	25	2	5	64	138	14,1	7,8	1,00	36,60	9

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL H													
EVALUACIONES A LA COSECHA													
Repetición	Calibre (N° frutos)							Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total	Calibre modal	< 10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total
1	0	28	78	0	0	106	15-20	0,00	28,64	130,76	0,00	0,00	159,40
2	0	19	72	0	0	91	15-20	0,00	26,70	139,60	0,00	0,00	166,30
3	0	28	68	0	0	96	15-20	0,00	38,60	135,00	0,00	0,00	173,60
4	0	9	73	1	0	83	15-20	0,00	9,54	131,82	2,72	0,00	144,08
5	0	1	87	0	0	88	15-20	0,00	1,21	171,06	0,00	0,00	172,27
6	0	18	59	0	0	77	15-20	0,00	19,55	110,92	0,00	0,00	130,47
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	1,9	0,2	11					
2	1,6	2,0	1,7	2,0	2,4	1,9	0,3	16					
3	2,3	2,2	2,6	2,1	1,7	2,2	0,3	15					
4	2,2	1,3	1,7	2,3	2,2	1,9	0,4	22					
5	2,5	2,1	1,6	1,5	1,6	1,9	0,4	24					
6	2,7	2,0	1,4	1,5	2,4	2,0	0,5	27					
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza		
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Podrido	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas	
1	75	1	0	0	0	2	78	14,1	7,0	0,90	35,80	12	
2	64	3	1	0	0	4	72	14,7	8,8	1,13	31,50	25	
3	58	4	0	1	0	5	68	14,8	9,1	1,16	38,40	12	
4	60	5	0	5	3	0	73	13,8	8,9	1,14	33,90	12	
5	83	1	0	2	0	1	87	14,0	8,8	1,13	33,80	16	
6	50	0	0	8	0	1	59	13,8	8,7	1,11	34,95	20	

ANEXO 5 (continuación).

EVALUACIONES A LOS 20 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	39	13	0	8	0	7	67	14,4	6,2	0,79	39,20	7
2	60	4	4	3	1	7	79	14,2	10,2	1,31	39,00	15
3	41	3	2	3	0	15	64	15,9	9,5	1,22	35,50	12
4	41	0	5	4	0	6	56	13,6	9,4	1,20	38,95	12
5	51	5	13	0	0	5	74	11,4	9,3	1,19	39,20	10
6	50	5	1	6	0	3	65	14,7	10,1	1,29	42,30	12
EVALUACIONES A LOS 40 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1	53	4	9	4	2	4	76	14,2	7,2	0,92	38,60	9
2	44	5	9	0	9	20	87	12,8	10,0	1,28	41,25	8
3	41	9	9	2	4	15	80	14,5	8,6	1,10	39,25	17
4	32	14	5	3	5	16	75	13,7	9,2	1,18	40,35	13
5	43	8	11	2	6	13	83	14,7	9,5	1,22	43,10	13
6	36	6	6	1	4	10	63	15,1	8,4	1,08	42,00	11

No se realizaron análisis de calidad en el cuartel A.

ANEXO 6 Relación entre el nivel de cobre en el suelo y la concentración de cobre foliar (ppm), determinada en los muestreos 5 y 6.

Cuartel	Repetición	Cu extractable	Muestreo 5	Muestreo 6
A	1	2,5	2,9	5,9
	2	2,5	3,3	-
	3	2,5	2,8	6,0
	4	2,7	-	6,1
	5	2,7	-	5,9
	6	2,7	-	5,6
B	1	1,7	3,5	4,0
	2	1,7	-	4,3
	3	1,7	3,3	3,6
	4	2,3	-	4,2
	5	2,3	-	3,6
	6	2,3	-	3,7
F	1	3,0	-	6,6
	2	3,0	3,7	-
	3	3,0	4,2	6,0
	4	4,3	-	5,9
	5	4,3	-	6,9
	6	4,3	-	5,9
G	1	1,5	-	3,5
	2	1,5	-	2,8
	3	1,5	2,2	4,1
	5	2,5	-	4,4
	6	2,5	-	4,3
H	1	1,0	1,8	-
	2	1,0	2,6	-
	3	1,0	2,3	-

Sólo se presentan las repeticiones consideradas para el análisis de regresión.

(-): Mediciones no se realizaron en el determinado muestreo.