

## INFORME DE AVANCE TÉCNICO Y DE DIFUSIÓN

<b>NOMBRE INICIATIVA:</b>	Servicio de diagnóstico y control de la fertilización en arándanos cultivados en suelos volcánicos del Sur de Chile
<b>EJECUTOR:</b>	Universidad Austral de Chile
<b>CODIGO:</b>	PYT-2009-0080
<b>N° INFORME</b>	8 (INFORME FINAL)
<b>PERÍODO</b>	JUNIO 2009 – 30 AGOSTO 2013
<b>REGIONES</b>	La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos
<b>APORTE TOTAL</b>	
<b>APORTE DEL FIA</b>	

(Parte 4)

---

**DR. DANTE PINOCHET TEJOS**  
**COORDINADOR PRINCIPAL**

<b>USO INTERNO FIA</b>	
<b>FECHA RECEPCIÓN</b>	

## CONTINUACIÓN ANEXO: TESIS DE GRADO PRESENTADAS POR ALUMNOS TESISTAS DEL PROYECTO

Se adjuntan a este informe copias de las tesis presentadas hasta el momento como parte de trabajos científicos generados por el proyecto, estas tesis ya fueron presentadas y aprobadas y en estos momentos se encuentran en proceso de publicaciones.



**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**

<b>Capítulo</b>		<b>Página</b>
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	14
2.4.1	Caracterización de los suelos volcánicos	15
2.4.2	Tecnologías de producción del cultivo	18
2.4.3	Problemas productivos y nutricionales	18
2.5	La importancia del cobre y su disponibilidad	19
3	<b>MATERIAL Y METODO</b>	21
3.1	<b>Materiales</b>	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	<b>Métodos</b>	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	PRESENTACION Y DISCUSION 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**

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
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**

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
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	15
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	48
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	50
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**

<b>Anexo</b>		<b>Página</b>
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 growing 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 contraestación 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 los siguientes:

- 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 micorríticos, 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 INDAP (2005), en el mundo se cultivan los arándanos “altos” (*Vaccinium corymbosum* L.), “ojo de conejo” (*Vaccinium ashei* Reade) y “bajos” (*Vaccinium angustifolium* L.).

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. 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 (INDAP, 2005).

Dentro de este grupo se encuentran los cultivares Bluecrop, Bluejay, Duke, Elliot, entre otros (INDAP, 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  $-30^{\circ}\text{C}$  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). Además, las plantas adultas del arándano requieren altos contenidos de nitrógeno (SUDZUKI, 2002).

**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 <sup>-1</sup> 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

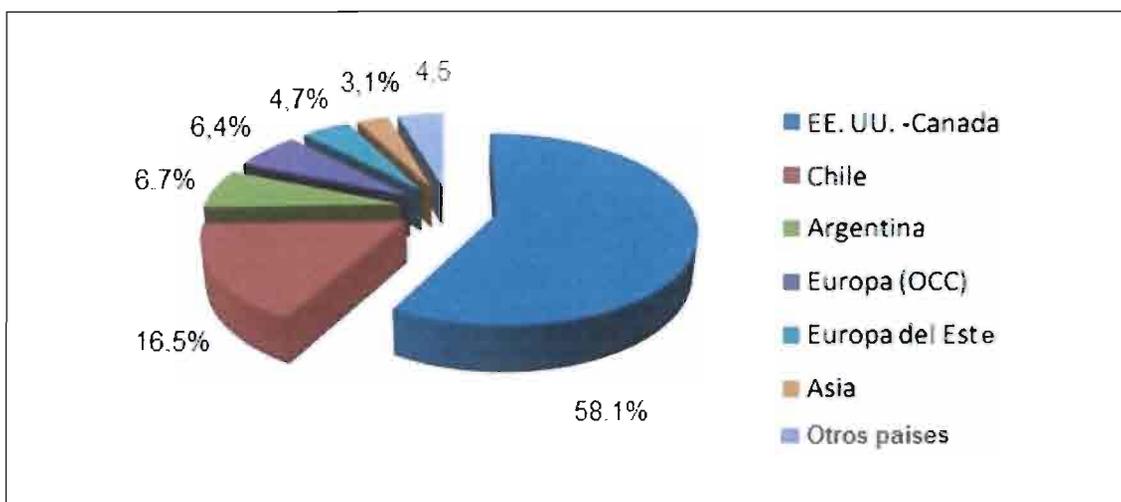
A continuación se presentan antecedentes acerca de la superficie plantada, exportaciones, precios internacionales y de mercados de destino del arándano.

**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 contraestación 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

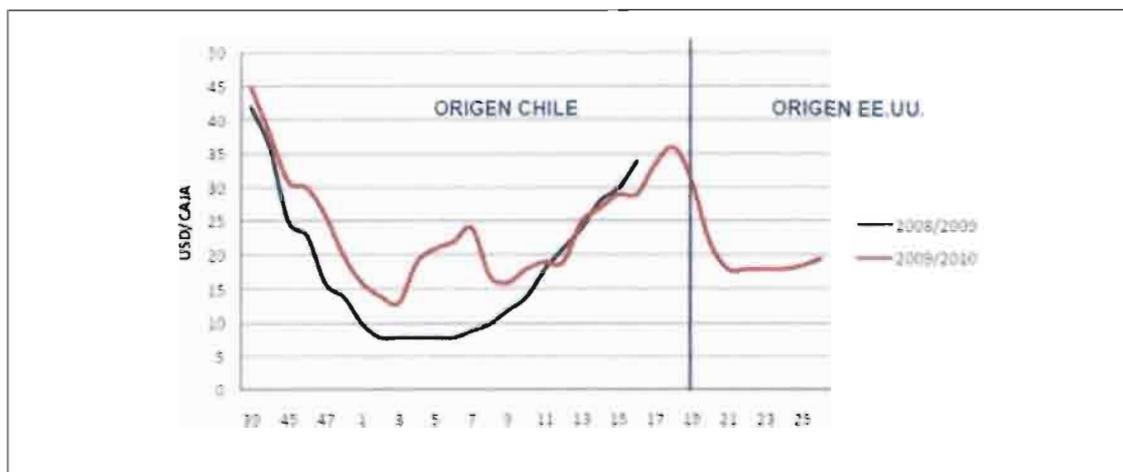
s.i: sin información.

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

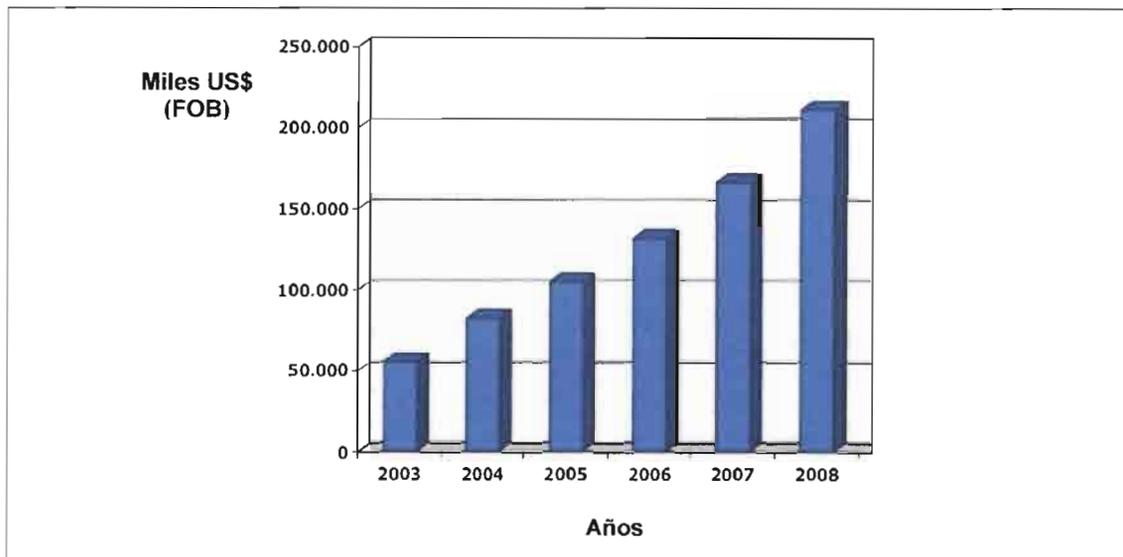
**CUADRO 4 Destino de la producción chilena de arándano (t).**

Producto	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Exportación</b>						
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%)
<b>Consumo local</b>						
Fresco	0	0	50 (<1%)	90 (<1%)	250 (<1%)	385 (<1%)
Congelado	0	0	0	150 (<1%)	400 (<1%)	615 (<1%)
<b>TOTAL</b>	<b>15.415</b>	<b>21.836</b>	<b>26.369</b>	<b>43.506</b>	<b>50.893</b>	<b>68.143</b>

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).**

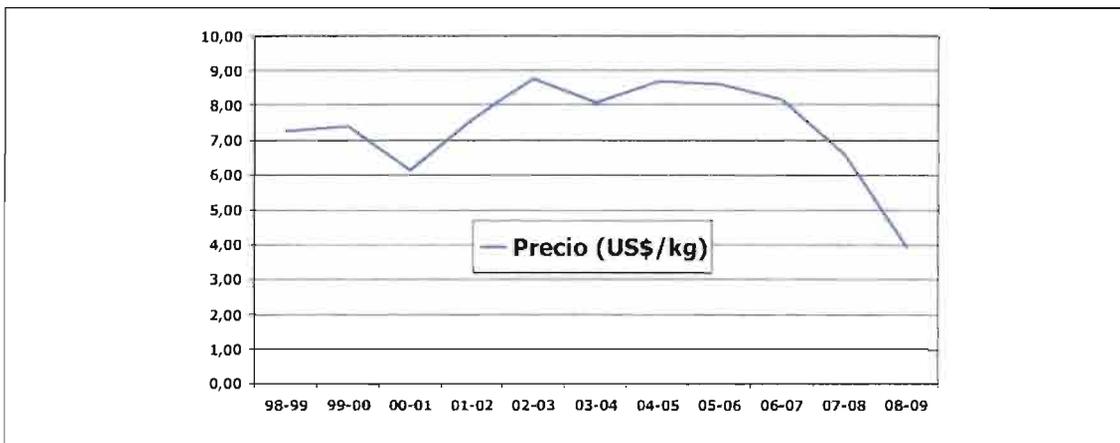
FUENTE: Adaptado de KONG (2009).

**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).

#### **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).



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

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

**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 fierro 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 ligera 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 hierro 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 <sup>-1</sup> )	20,0	24,5	16,4
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)		5,6	4,5	5,1
Al extractable	(mg kg <sup>-1</sup> )	1.417	2.678	820
<b>Cationes intercambiables</b>				
Calcio	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	4,03	2,56	2,69
Magnesio	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1,20	0,60	0,45
Potasio	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,27	0,30	0,18
Suma de bases	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,60	3,57	3,47
Aluminio	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,30	1,83	0,18
CICE	(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,90	5,40	3,65
Saturación de Al	(g 100 g <sup>-1</sup> )	5,09	33,92	4,94
<b>Cobre extraíble inicial (DTPA)</b>				
Cobre	(mg kg <sup>-1</sup> )	0,9	1,3	1,4
<b>Textura</b>				
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 precios<sup>1</sup>.

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)<sup>2</sup>.

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

---

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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.

de información científica local acerca de la demanda y suministro en el suelo de nutrientes<sup>3</sup>

## 2.5 La importancia del cobre y su disponibilidad

El cobre es un micronutriente catión absorbido por las plantas como  $\text{Cu}^{2+}$  y también como componente de complejos orgánicos naturales o sintéticos. Su concentración 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  $\text{CO}_2$ , 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

---

<sup>3</sup> 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.

cobre de la enzima Cu-Zn-SOD, localizada en los estromas de los cloroplastos, está involucrado directamente en la desintoxicación del O<sub>2</sub> 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 cuartos 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.**

<b>Característica</b>	<b>Serie Pelchuquín</b>	<b>Serie La Unión</b>	<b>Serie Río Bueno</b>
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 <sup>-1</sup>	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 Río 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

\* Datos incompletos, ya que en la información entregada faltaron algunos antecedentes.

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) <sup>4</sup>, 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)

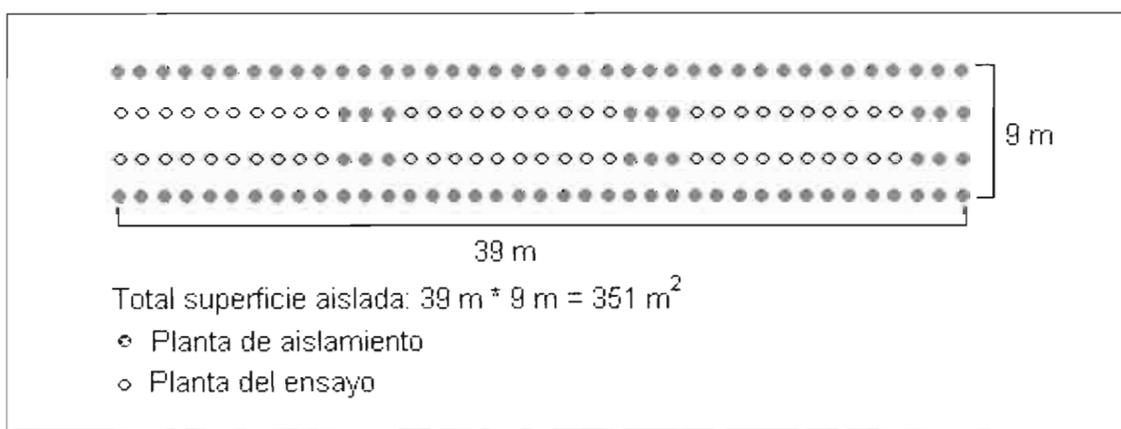
<sup>4</sup> USLAR, D. (2012). Ing. Agr. MBA. Jefe División Agropecuaria. Cooperativa Agrícola y Lechera de La Unión Ltda. (COLUN). Datos meteorológicos La Unión. Correo personal. < duslar@colun.cl >. Comunicación personal.

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 grandes, 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.

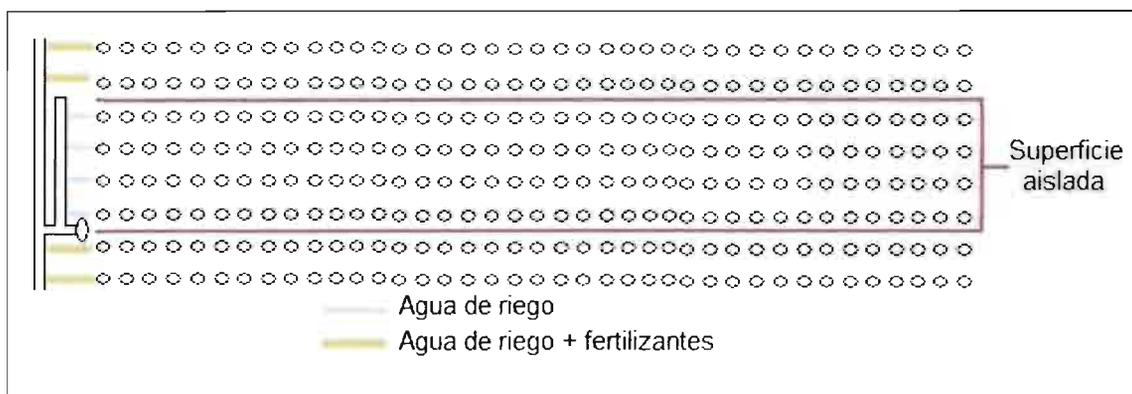
**3.2.1 Distribución de los ensayos.** Para determinar el nivel crítico de cobre en el suelo, se midió el cobre extractable de 16 sitios, estableciéndose que cada uno de ellos representara un nivel de cobre. Es decir, se determinaron 16 niveles de cobre en los ocho cuarteles estudiados, dos por cada 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 m<sup>2</sup>, 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<sub>c</sub> de Ca kg<sup>-1</sup>, 1 cmol<sub>c</sub> de Mg kg<sup>-1</sup>, 0,1 cmol<sub>c</sub> de Al intercambiable kg<sup>-1</sup>, 2,5 ppm de Fe extractable y 1 ppm para el resto de micronutrientes<sup>5</sup>.

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

<sup>5</sup> PINOCHET, D. (2009). Ing. Agr., M. Sc., Ph. D. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Universidad Austral de Chile. Proyecto FIA-UCh 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 80 hojas por repetición (ocho 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 "cooler" 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 cuales se tomaron con un barreno a 20 cm de profundidad y a 20 y 40 cm de distancia de la base del tallo, a lo largo de toda la hilera de la repetición (cinco submuestras a 20 cm y cinco submuestras a 40 cm de distancia de la base del tallo).

**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 ( $\text{Cu}^{+2}$ ), 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 mantención (de 8 m<sup>3</sup>, 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  $\text{kg cm}^{-2}$ , 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 (que representan el porcentaje de sacarosa presente en el jugo). 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:

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

**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 suficiencia o deficiencia 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.

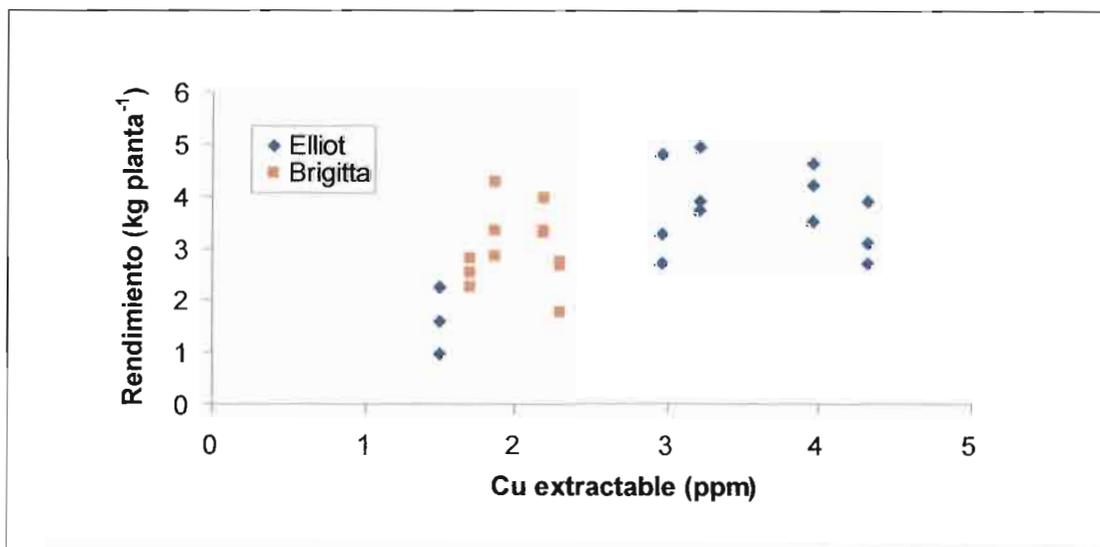
El análisis del peso de los frutos también incluyó un ANDEVA de dos vías, el cual comparó el efecto del nivel de cobre y el efecto del calibre sobre el peso de los frutos (previa normalización de los datos a través del factor  $x^{-1}$ , siendo normales después de esta transformación, según la prueba de normalidad Shapiro-Wilk).

Al igual que para el peso de los frutos, en el análisis de firmeza se evaluó 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, análisis que no requirió normalización de los datos, pues estos fueron considerados normales por la prueba de Shapiro-Wilk.

## 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  $Y_{\text{máx}}$  de 3,55 de productividad expresado en  $\text{kg planta}^{-1}$ . Restando el valor del error estándar de la ecuación al valor de  $Y_{\text{máx}}$ , 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:

$$Y = \frac{Y_{\text{máx}}}{1 + \exp\left(\frac{V50 - X}{S}\right)} \quad 4 (3)$$

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

$$X = V50 - \left[ \ln\left(\left(\frac{Y_{\text{máx}}}{Y}\right) - 1\right) * S \right] \quad 4 (4)$$

Los resultados del ajuste de los datos son los siguientes:

- Mejores valores de ajuste

Y<sub>máx</sub> (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

R<sup>2</sup> : 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<sub>máx</sub> – error estándar (Sy.x) 4 (5)

Y = 2,94

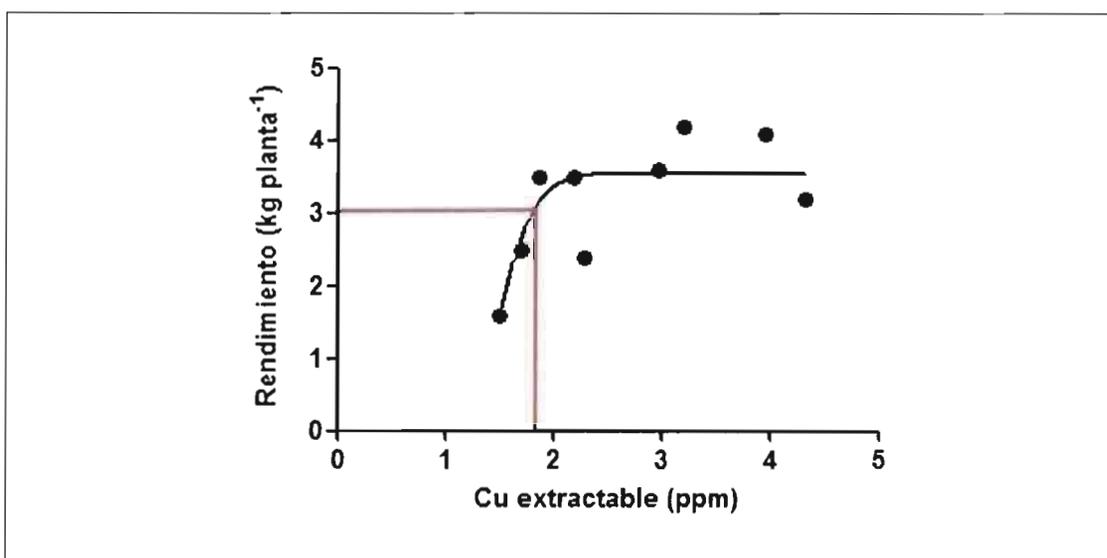
**CUADRO 10 Niveles de toxicidad de cobre del suelo extraído con diferentes soluciones extractoras, para distintos cultivos.**

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 + H2SO4 N	Mannix y Rodríguez
Arroz	> 40	HC1 0,05 N + H2SO4 N 0,02 N	Universidad Estatal de Carolina del Norte
Arroz	> 30	NaHCO3 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.

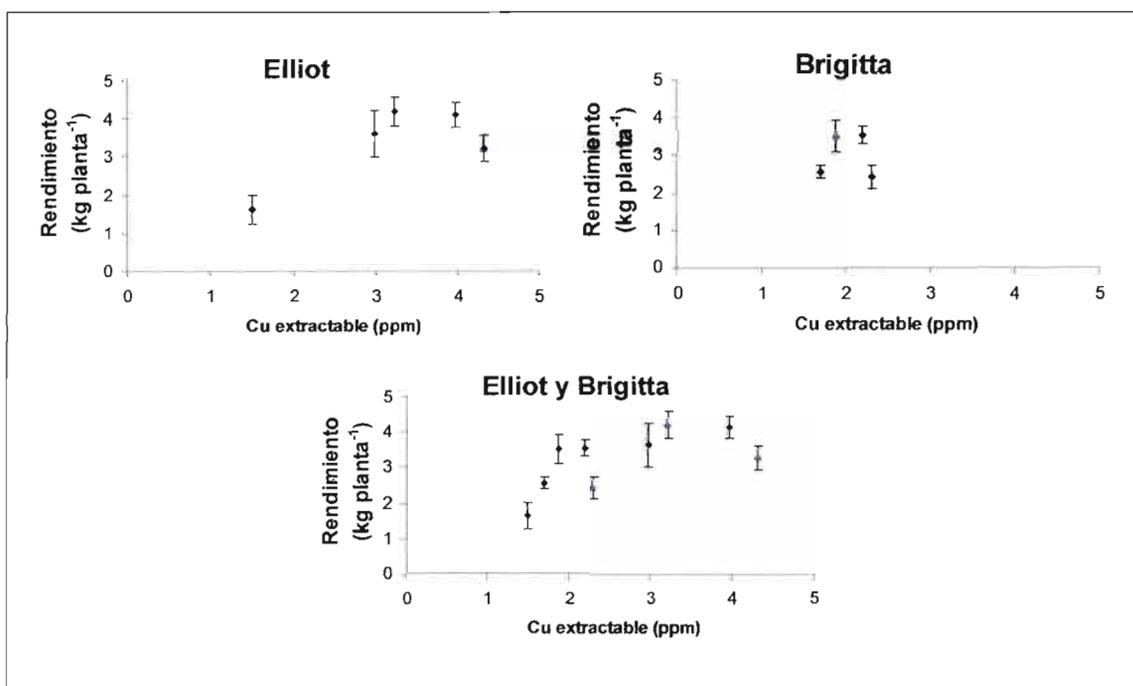


**FIGURA 8** Determinación del nivel crítico de cobre extractable para el cultivo del arándano en suelos volcánicos del sur de Chile.

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 la Figura 8, 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.

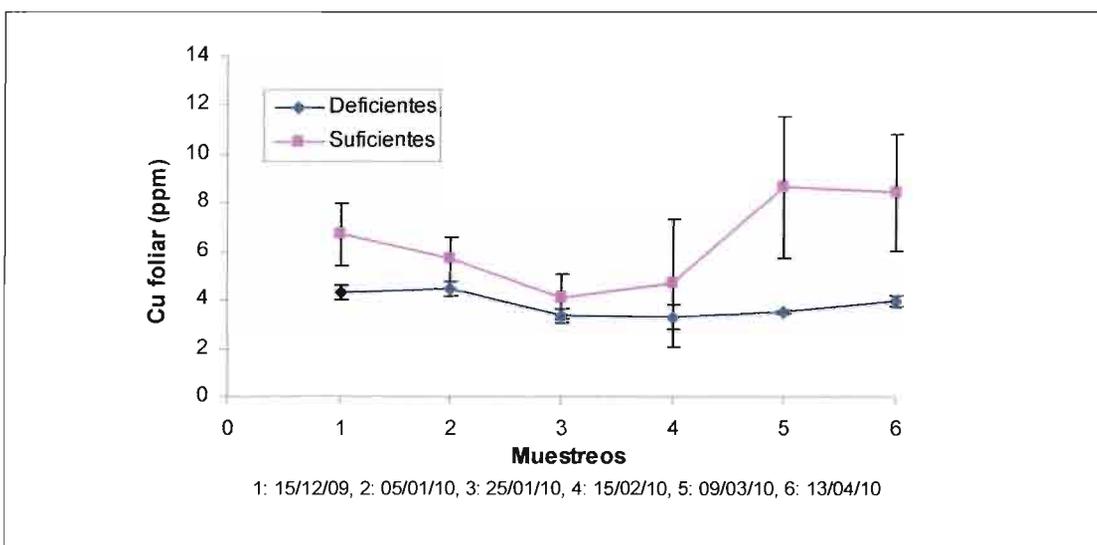
(Barras de error corresponden al error estándar).

#### 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.**

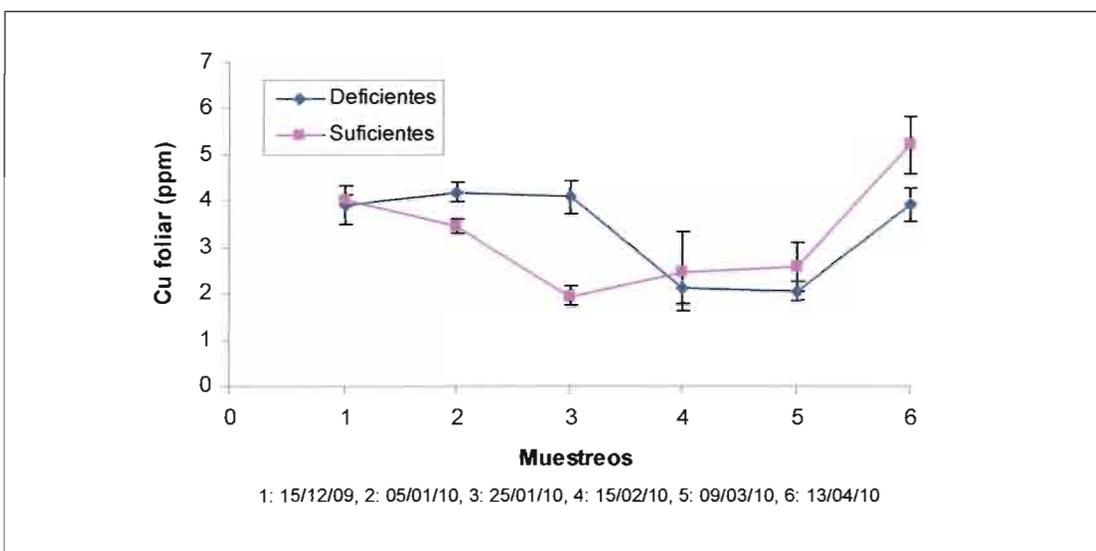
(Barras de error corresponden al error estándar).

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.

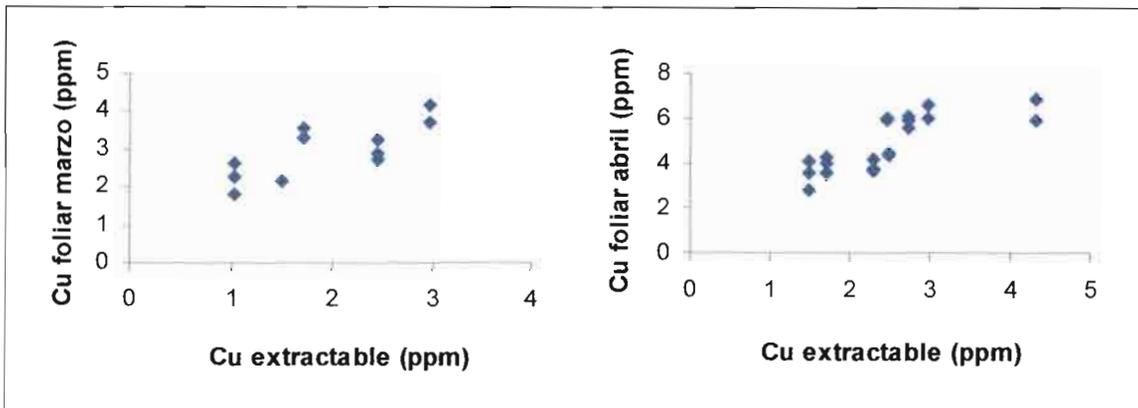
Si bien durante el segundo y tercer muestreo foliar (enero), también se presentó una diferencia entre las concentraciones foliares de los ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo, no sería útil realizar muestreos foliares en este periodo, pues ocurre que los ensayos con cobre 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**

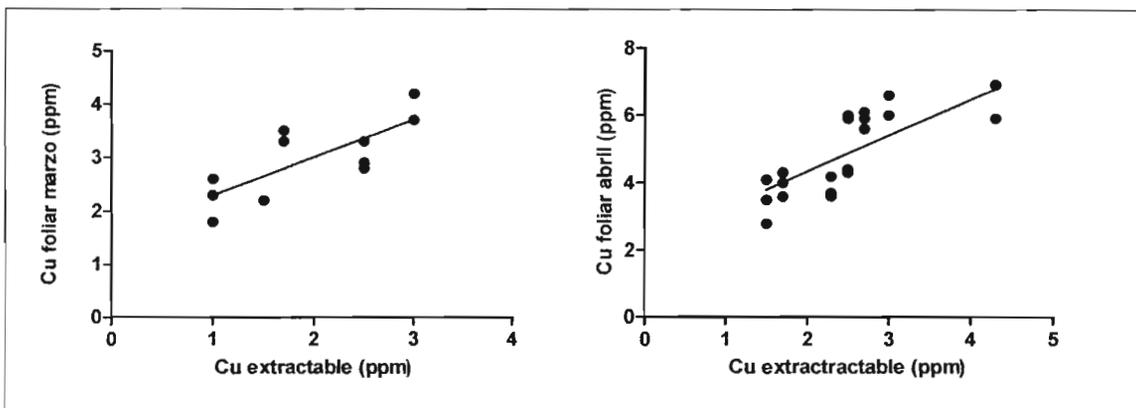
Al relacionar el nivel de cobre extractable con la concentración de cobre en el tejido, se determinó que existió una relación positiva entre ambas variables. Es decir, que a medida que aumentó el nivel de cobre extractable en el suelo, la concentración de

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
<b>Mejores valores de ajuste</b>		
Intercepto de Y	1,59 ± 0,40	2,20 ± 0,54
Pendiente	0,71 ± 0,19	1,07 ± 0,20
<b>Bondad de ajuste</b>		
Grados de libertad	9	19
R <sup>2</sup>	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:

$$Y1 \text{ (cobre foliar crítico en marzo): } 1,59 + 0,71 \cdot 1,8 = 2,9 \text{ ppm}$$

$$Y2 \text{ (cobre foliar crítico abril) : } 2,20 + 1,07 \cdot 1,8 = 4,1 \text{ ppm}$$

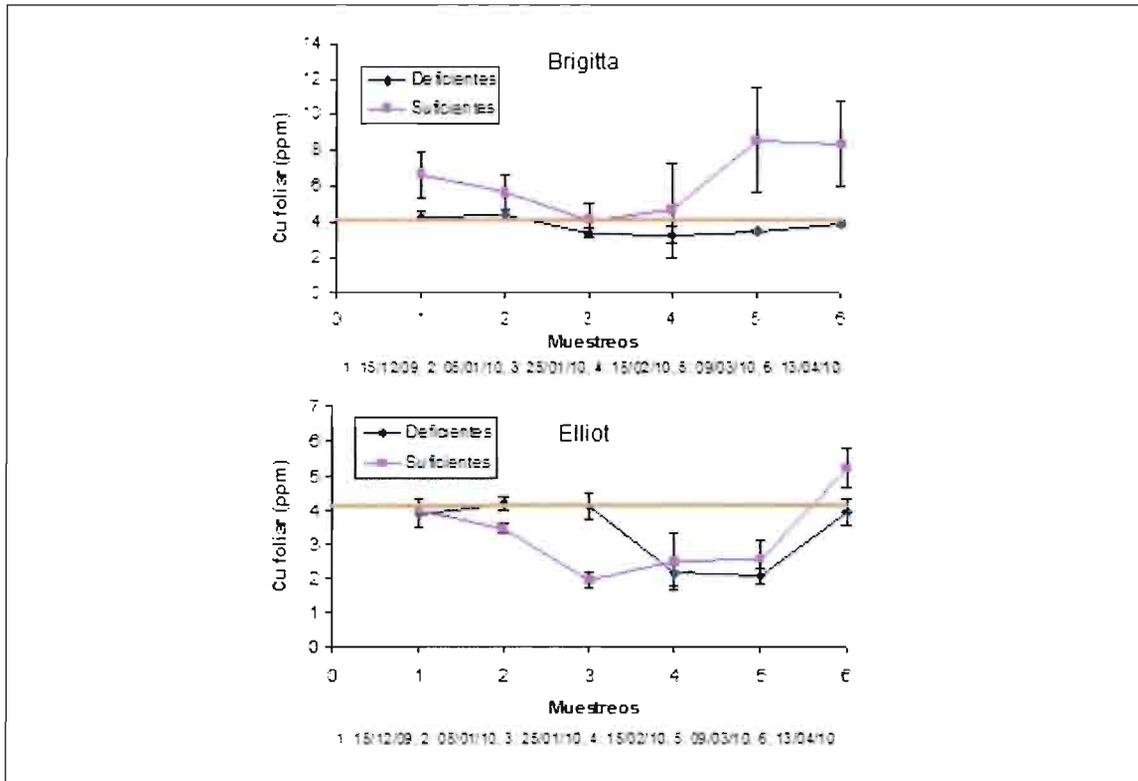
Es decir, que habiéndose establecido una relación entre el contenido de cobre en el suelo y el contenido de cobre en tejido foliar, cuando el nivel de cobre extractable es 1,8 ppm (nivel crítico en el suelo), la concentración crítica en tejido foliar sería de 2,9 ppm en marzo y de 4,1 ppm en abril.

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 hace suponer que el mejor momento para 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.

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 (Figura 15).

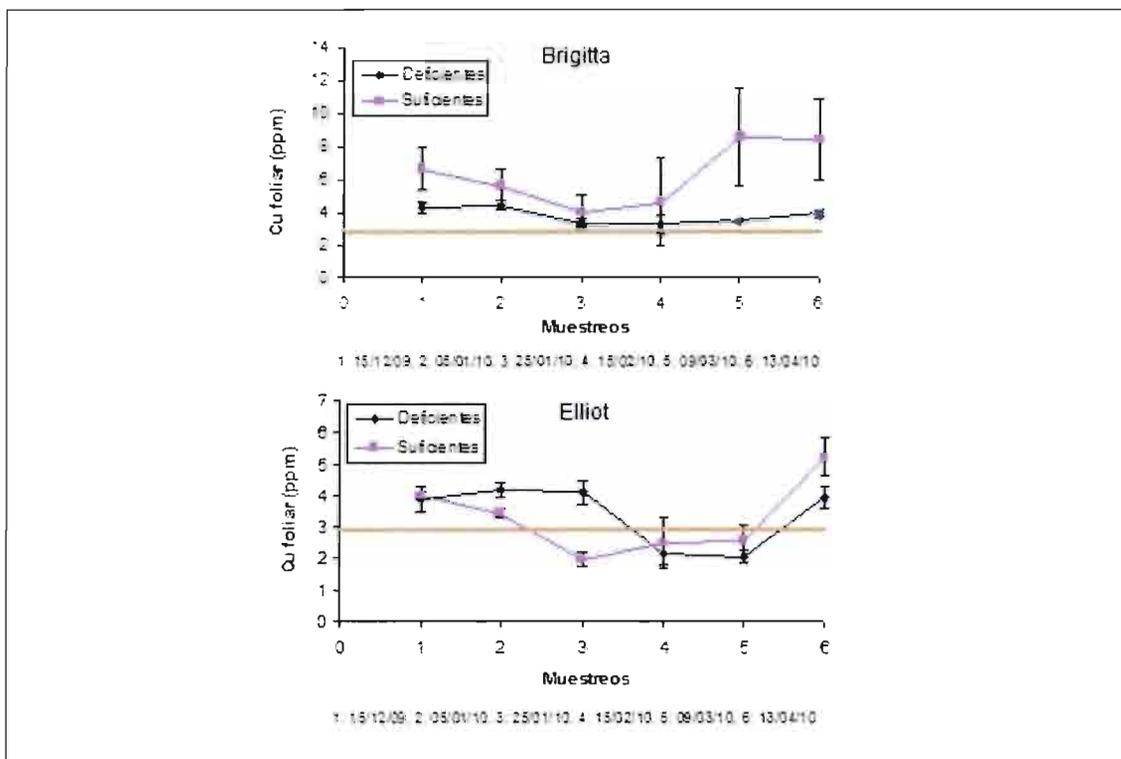


**FIGURA 14** Concentración crítica de cobre foliar de 4,1 ppm con respecto a las concentraciones foliares de los ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo.

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 las 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).



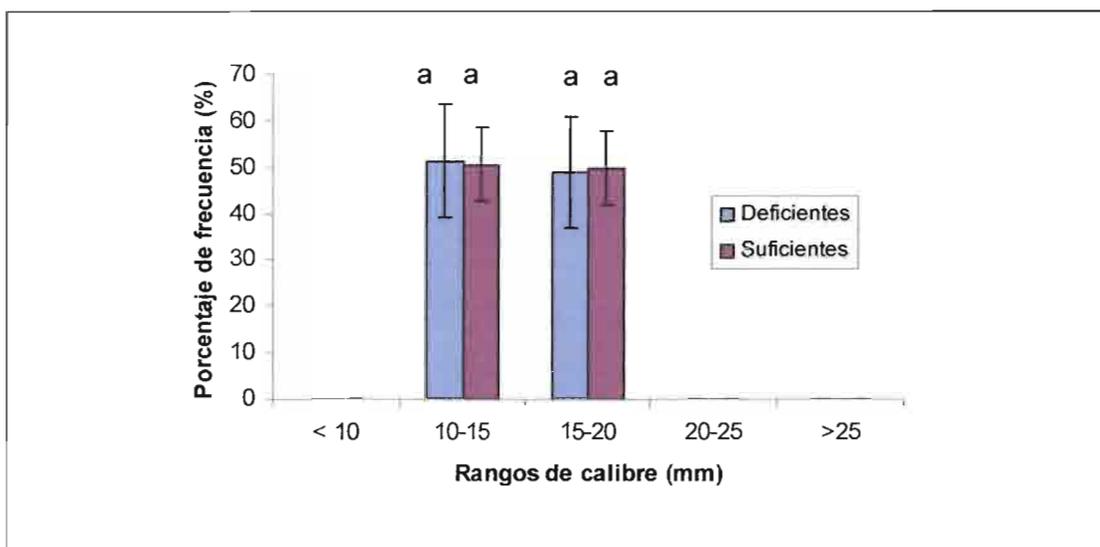
**FIGURA 15** Concentración crítica de cobre foliar de 2,9 ppm con respecto a las concentraciones foliares de los ensayos con niveles deficientes y suficientes de cobre en el suelo.

#### 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.



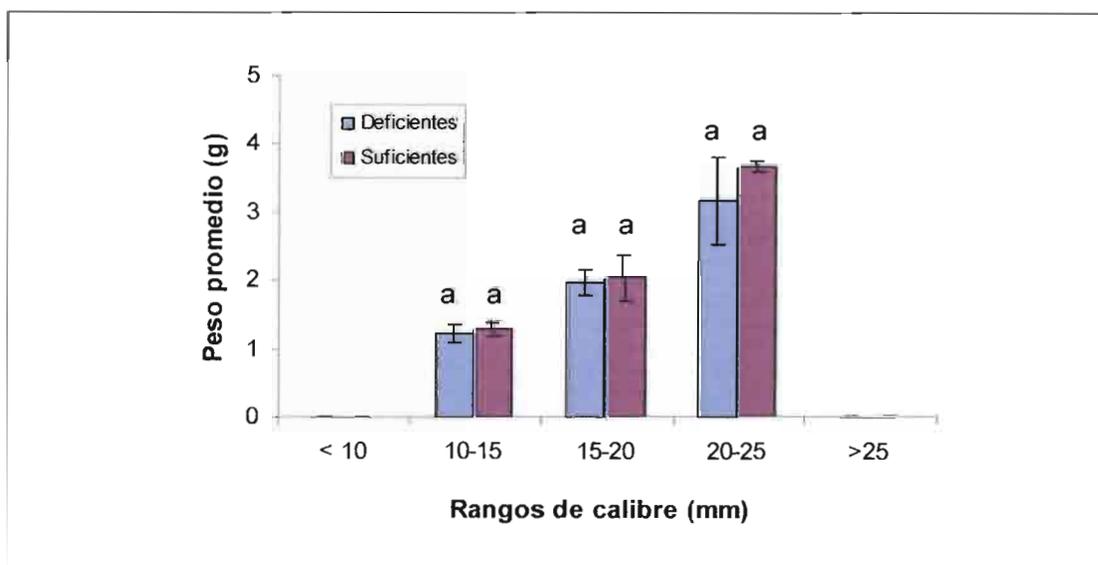
**FIGURA 16 Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el calibre de frutos.**

(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 ( $\leq 10$  mm), medio (11 – 15 mm) y fruto grande ( $\geq 16$  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.



**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).

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.

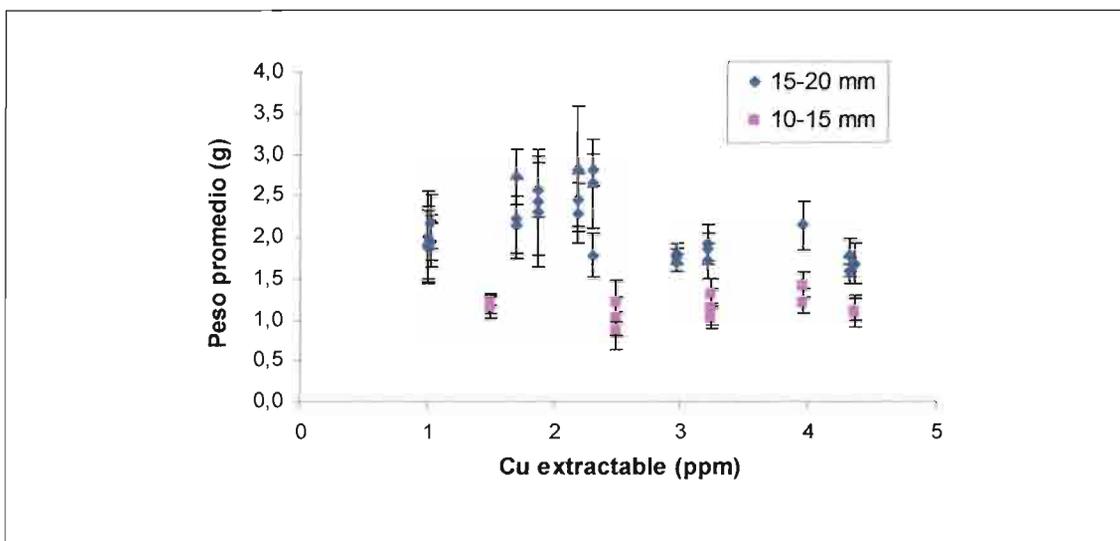
Para comprobar que el peso de los frutos está relacionado con el calibre y no con el nivel de cobre en el suelo, se realizó un ANDEVA de dos vías, en el cual se comparó el efecto del nivel de cobre y el efecto del calibre sobre el peso de los frutos. Este análisis mostró que la variación en el peso de los frutos se debió en un 89% al calibre, considerándose el efecto de este factor extremadamente significativo y sólo en un 0,5% al nivel de cobre en el suelo. De esta forma, se determinó en los datos evaluados que el peso de los frutos fue dependiente del calibre y no del nivel de cobre en el suelo.

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).

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.

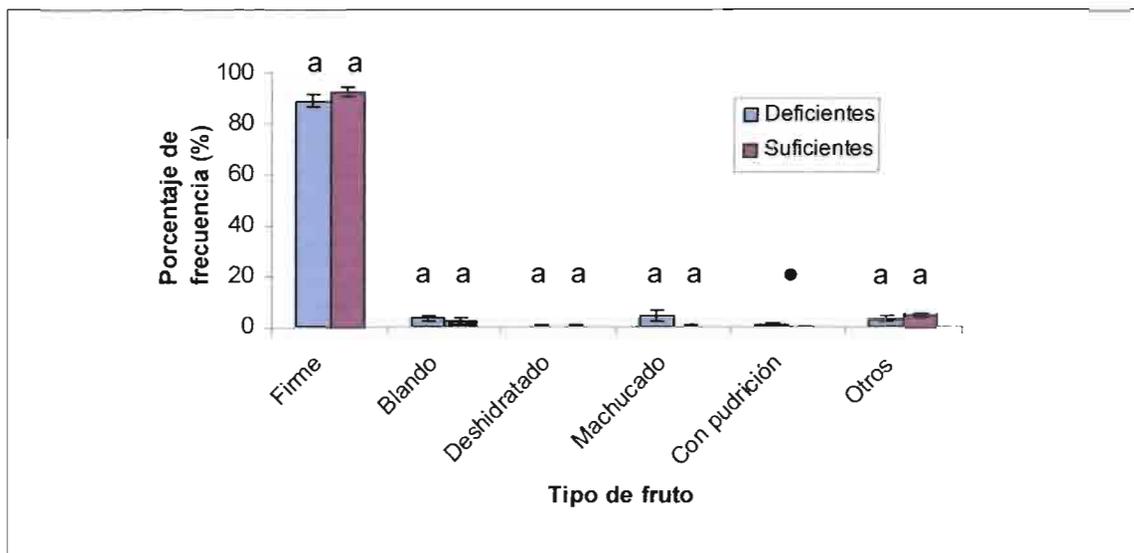


**FIGURA 18** Relación entre el nivel de cobre del suelo y el peso promedio de los frutos del calibre modal obtenido en cada uno de los niveles.

(Barras de error corresponden a la desviación estándar).

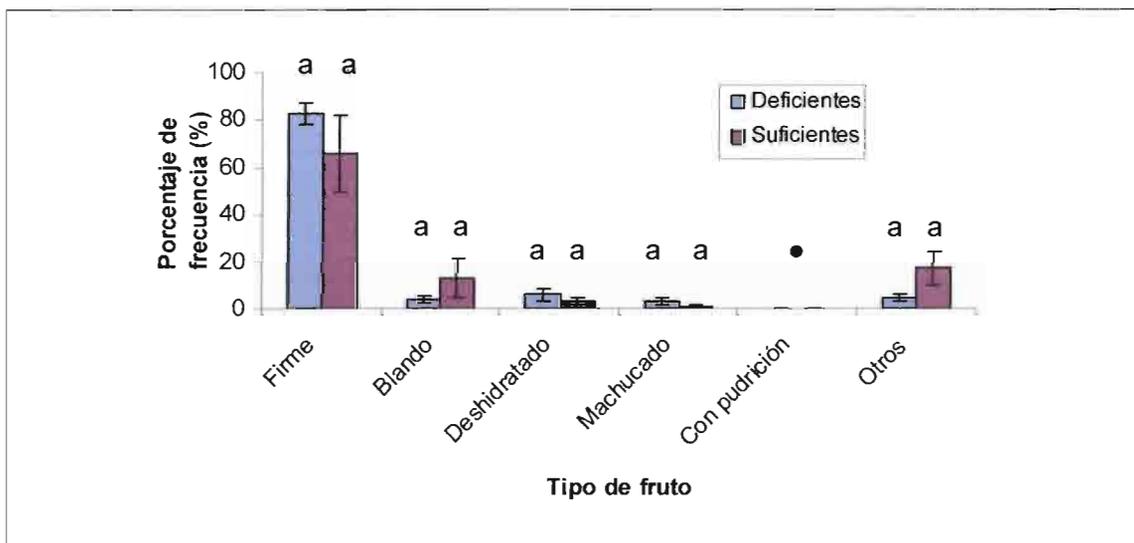
**4.4.3 Tipo de fruto.** Al evaluar el efecto del nivel de cobre del suelo sobre el tipo de fruto obtenido al momento de la cosecha y en la poscosecha, no se observó una relación entre estas variables. Es decir, independiente del nivel de cobre en el suelo, el tipo de fruto no varió, tanto en las evaluaciones 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).



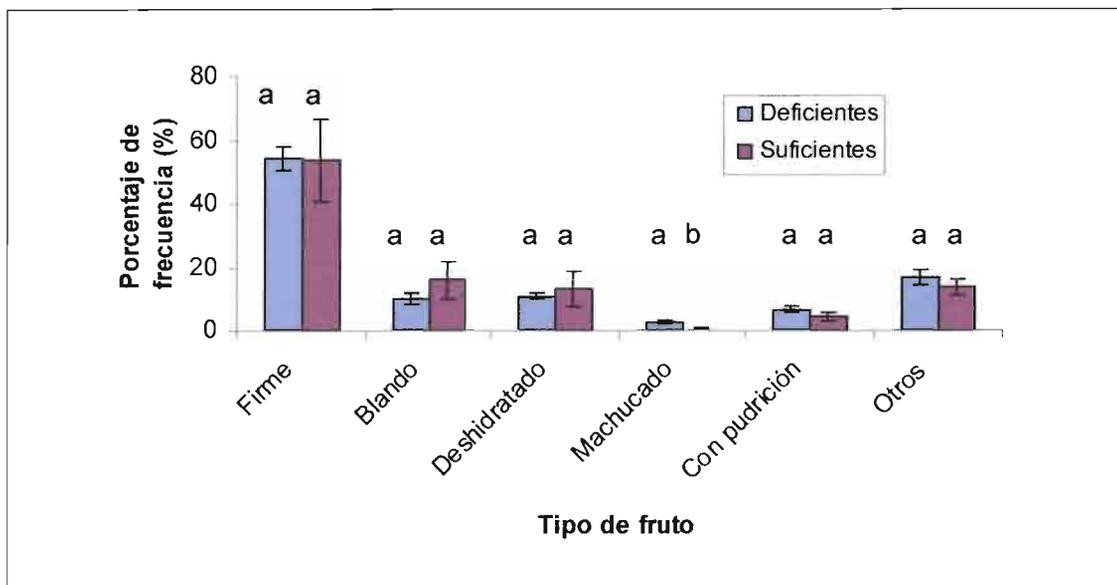
**FIGURA 19** Efecto del nivel de cobre en el suelo sobre el tipo de fruto obtenido al momento de la cosecha.

(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).

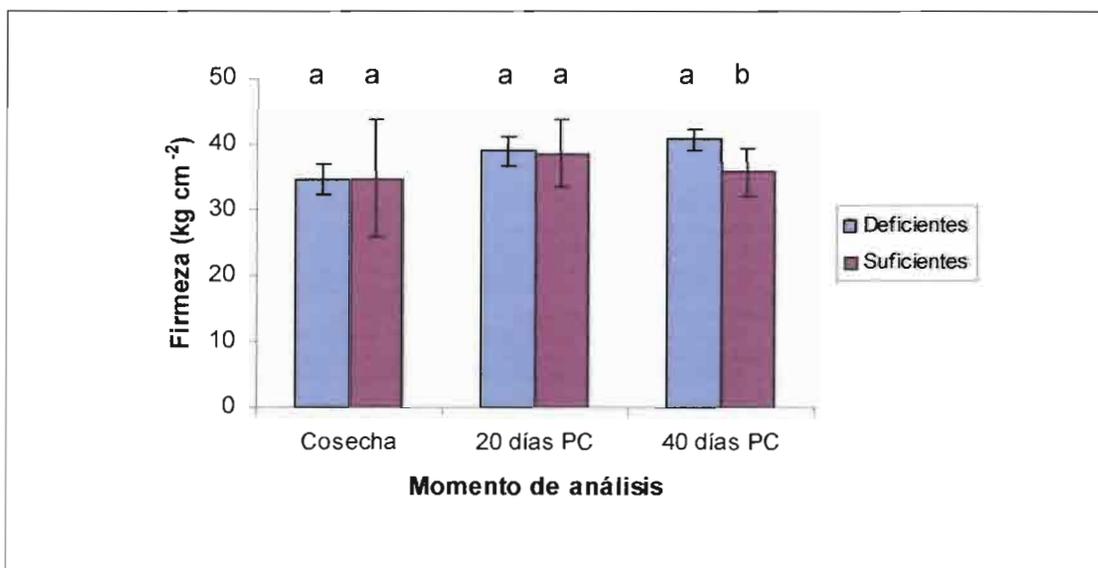
KIRKBY y RÖMHELD (2007) han señalado que el cobre está presente en las enzimas polifenol oxidasa, ascorbato oxidasa y diamino oxidasa, las cuales aparecen en las paredes celulares y participan en la biosíntesis de lignina, por lo cual, la deficiencia de cobre provoca la reducción de la lignificación. 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

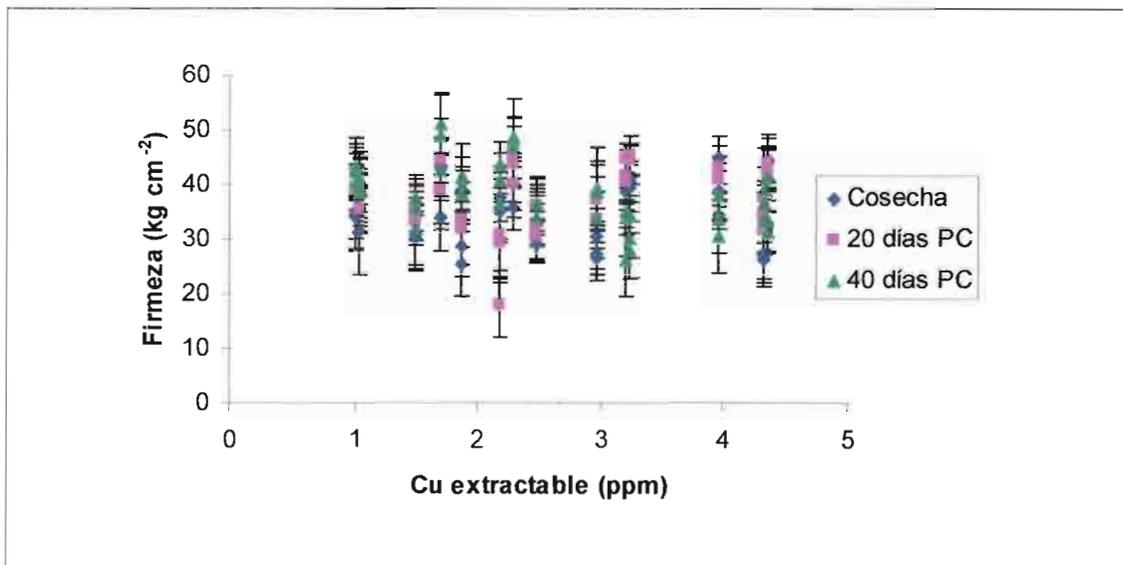
rápidamente el deterioro de los frutos de arándano, lo cual propicia pérdidas de peso y de firmeza de los mismos. Valero y Ruiz (2007), citados por ZAPATA *et al.* (2010), señalan que la firmeza depende del estado en que se encuentre la fruta al momento de la cosecha, de la temperatura y de la forma 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, pues según este estudio, el cobre no sería un determinante de la firmeza de los frutos.

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).



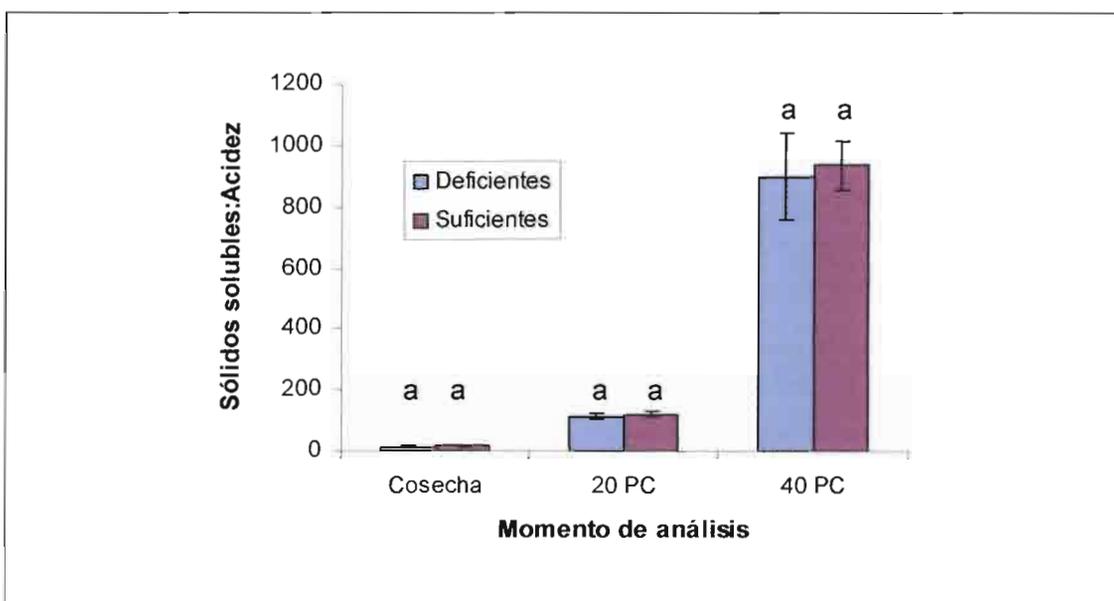
**FIGURA 23** Relación entre el nivel de cobre en el suelo y la firmeza de frutos de arándano a la cosecha y a los 20 y 40 días de poscosecha.

(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.

Como se observa en la Figura 24, la relación entre los sólidos solubles y la acidez titulable presentó una estrecha relación con el momento de análisis. A medida que mayor fue el tiempo transcurrido luego de la cosecha, aumentó la relación entre los sólidos solubles y la acidez. Esto se debe a que la acidez titulable disminuye considerablemente entre un momento de análisis y otro. A los 20 días de poscosecha disminuyó 10 veces con respecto a la cosecha, y a los 40 días de poscosecha nuevamente disminuyó 10 veces su concentración, con respecto a la concentración

obtenida a los 20 días de poscosecha (Anexo 5). Observaciones similares han sido descritas por Kalt y McDonald (1996), citados por GODOY (2004) y quienes, además, determinaron que la concentración del ácido cítrico disminuye notoriamente a medida que la fruta va madurando. Kushman *et al.* (1967), citados por BARRIOS (2007), señalan que el incremento en la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable durante la madurez se debe a un incremento en la glucosa y en la fructosa, lo que provoca una disminución en el ácido cítrico, en cultivares cosechados en condiciones de luz solar directa.

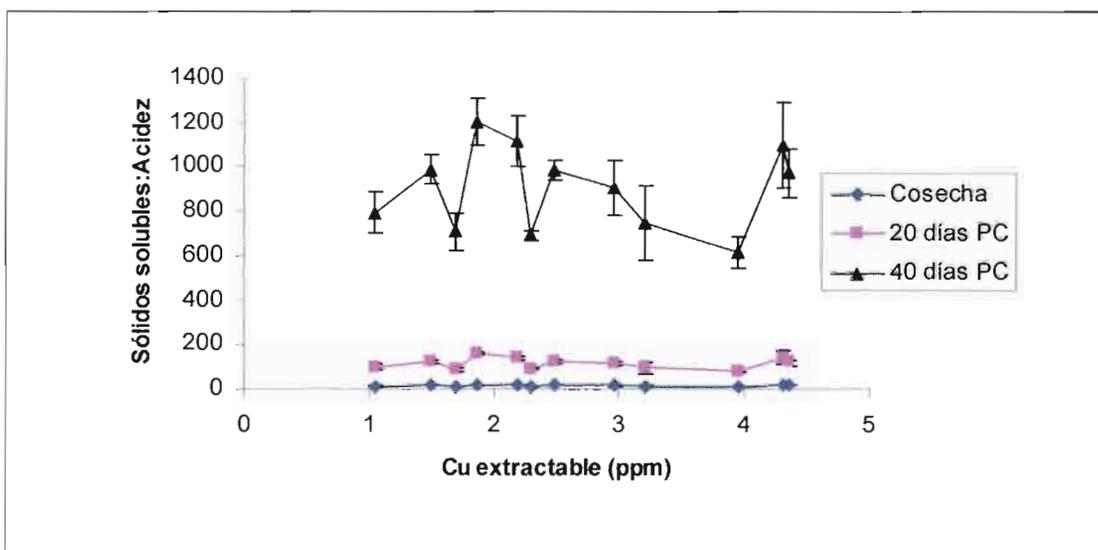


**FIGURA 24 Efecto del nivel de cobre del suelo sobre la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable de frutos de arándano a la cosecha y a los 20 y 40 días de poscosecha.**

(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).

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). Sin embargo, al igual que en la

Figura 24, sí se observó una diferencia en la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable, la cual estuvo condicionada por el momento de poscosecha.



**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](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.
- 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 pacifico 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](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](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](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](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](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](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/SeminarioBerries\\_2011/Dominguez2011inauguracion.pdf](http://www.chilealimentos.com/medios/Servicios/Seminarios/2011/SeminarioBerries_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).

- GODOY, C. 2004. Conservación de dos variedades de arándano alto en condiciones de frío convencional. (On line). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo (Argentina) 36 (1): 53 – 61. <[http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/157/GodoyAgrarias1-04.PDF](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/157/GodoyAgrarias1-04.PDF)>. (23 oct. 2011).
- 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. 6<sup>th</sup> 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](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.otalca.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](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](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).
- 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](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/CRI/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://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=Evaluaci%C3%B3n+del+comportamiento+de+las+principales+variedades+de+ar%C3%A1ndano+plantadas+en+Chile+y+su+potencial+productivo+en+las+distintas+regiones+del+pa%C3%ADs+E2%80%9D+HUMBERTO+SERRI+G.+FACULTAD+DE+AGRONOMIA+UNIVERSIDAD+DE+CONCEPCION&source=web&cd=2&ved=0CCoQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.asoex.cl%2Fadmin%2FPaginaWeb%2FBiblioteca%2FArchivos%2FBajar.asp%3FCarpeta%3DSEMINARIOS%255C2009%255CSEMINARIO%2520AR%25C1NDANOS%2520-%2520CICLO%2520II%2520-%2520MAYO%25202009%26Archivo%3D03\\_Sr\\_Serri\(2\).pdf&ei=ow07T5OgPljJtgedku3iCg&usg=AFQjCNEADOedqjydfhTwlBVYWmvjRixEGg](http://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=Evaluaci%C3%B3n+del+comportamiento+de+las+principales+variedades+de+ar%C3%A1ndano+plantadas+en+Chile+y+su+potencial+productivo+en+las+distintas+regiones+del+pa%C3%ADs+E2%80%9D+HUMBERTO+SERRI+G.+FACULTAD+DE+AGRONOMIA+UNIVERSIDAD+DE+CONCEPCION&source=web&cd=2&ved=0CCoQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.asoex.cl%2Fadmin%2FPaginaWeb%2FBiblioteca%2FArchivos%2FBajar.asp%3FCarpeta%3DSEMINARIOS%255C2009%255CSEMINARIO%2520AR%25C1NDANOS%2520-%2520CICLO%2520II%2520-%2520MAYO%25202009%26Archivo%3D03_Sr_Serri(2).pdf&ei=ow07T5OgPljJtgedku3iCg&usg=AFQjCNEADOedqjydfhTwlBVYWmvjRixEGg)>. (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](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](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://riegofruta.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
pH <sub>Ca</sub>	(CaCl <sub>2</sub> )	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 <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )
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 <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )
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 <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )
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 <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )
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	pH	Materia orgánica	P-Olsen	Bases	Al intercambiable	S	Cu
		(agua)	(CaCl <sub>2</sub> )	(%)	(mg/kg)	(cmol+/kgss)	(cmol+/kgss)	(mg/kg)	(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	<b>2,25</b>	3,66	4,28
	3	3,78	4,19	<b>1,31</b>	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	<b>6,38</b>	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	<b>2,66</b>	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	<b>2,94</b>	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	<b>0,72</b>	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	<b>0,81</b>	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	<b>2,33</b>
	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 modal	Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total		< 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)					Promedio	DE	CV (%)					
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5								
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 modal	Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total		< 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)										DE	CV (%)	
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio							
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 modal	Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total		< 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 modal	Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total		< 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)										DE	CV (%)	
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio							
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)										DE	CV (%)	
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio							
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 modal	Calibre (Peso frutos rango (g))					
	<10 mm	10-15 mm	15-20 mm	20-25 mm	>25 mm	Total		< 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)					Promedio	DE	CV (%)					
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5								
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.



# Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Agrarias

Escuela de Agronomía

## **Fertilización nitrogenada de arándano alto (*Vaccinium Corymbosum L.*) en suelos volcánicos del sur de Chile (segundo año de estudio)**

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

**Luisa Margarita Carreño Nauco**

Valdivia – Chile

2013

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.  
Ingeniero Agrónomo  
Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos

## INDICE DE MATERIAS

<b>Capítulo</b>		<b>Página</b>
	RESUMEN	1
	SUMMARY	2
1	INTRODUCCIÓN	3
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Descripción del arándano alto ( <i>Vaccinium corymbosum L.</i> )	5
2.2	Fertilización en arándano	8
2.3	Nitrógeno (N)	8
2.4	Superficie, producción y exportación de arándano	13
3	MATERIAL Y METODOS	15
3.1	Descripción del ensayo de campo de nitrógeno y caracterización edafoclimática del sector de ubicación del ensayo	15
3.2	Evaluación de los ensayos de N	18
3.3	Análisis estadístico	20
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	21
4.1	Variación del N-mineral en el suelo	21
4.1.1	Relación entre la concentración de N-mineral medida en dos profundidades de muestreo de suelo: 0-20cm y 0-40cm en el tratamiento control	21

4.1.2	Variación del N-mineral del suelo en el tiempo en el tratamiento control	25
4.1.3	Concentración del N-mineral del suelo en las primeras cuatro fechas de muestreo de suelo en el tratamiento control	27
4.1.4	Relación entre la dosis del N aplicada y el N-mineral del suelo en el tiempo de muestreo	29
4.2	Relación entre el rendimiento de fruto por cuartel y el N-mineral del suelo	31
4.2.1	Relación entre el rendimiento máximo de fruto por cuartel y el N-mineral del suelo	33
4.2.2	Variación del rendimiento promedio ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) por variedad de arándano	37
4.3	Efecto del tratamiento de N en el suelo sobre el crecimiento de brotes	39
5	CONCLUSIONES	44
6	BIBLIOGRAFÍA	45
7	ANEXOS	55

**INDICE DE CUADROS**

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Descripción general del ensayo de N, por cuartel	15
2	Caracterización del suelo de los cuarteles con ensayo de N	17
3	Parámetros de la ecuación de regresión lineal, ajustada y automática, de la Figura 2	25
4	Valores de los parámetros de la ecuación lineal, por cuartel	30
5	Valores de los parámetros de la ecuación ajustada, lineal y cuadrática, por cuartel	32
6	Valor promedio y desviación estándar (d.s.) del rendimiento máximo (kg planta <sup>-1</sup> ) obtenido por temporada y del nivel de N-mineral medido de 0-40 cm de profundidad de suelo (mg kg <sup>-1</sup> ), las primeras cuatro fechas de muestreo, por cuartel	34
7	Comparación de medias de largo de brotes (cm) entre los 6 cuarteles por tratamiento de N en dos épocas, temporada 2010-2011	41

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Relación entre el N-mineral del suelo medido a 20 cm y a 40 cm de profundidad en el tratamiento control (sin aplicación de fertilizante N), en cada cuartel evaluado por fecha de muestreo de suelo (siete fechas)	22
2	Relación entre el N-mineral del suelo medido a 20 cm y a 40 cm de profundidad en el tratamiento control (sin aplicación de fertilizante N), en todos los cuarteles evaluados en las 7 fechas de muestreo de suelo	24
3	Comportamiento del N-mineral del suelo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en 40 cm de profundidad por fecha de muestreo de suelo en el tratamiento control (sin aplicación de fertilizante N) en los seis sitios de ensayo (cuarteles)	26
4	Variación promedio del N-mineral ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) presente en los primeros 40 cm de suelo en las primeras cuatro fechas de muestreo, en el tratamiento control (tukey, 99%)	28
5	Efecto de la dosis N aplicada ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) sobre el N-mineral promedio estimado de 0-40 cm de profundidad de suelo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) entre noviembre 2010 a marzo 2011, por tratamiento de N	29
6	Relación entre el rendimiento relativo (%) y N-mineral promedio medido en 40 cm de profundidad de suelo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) medido entre noviembre 2010 a enero 2011, por tratamiento de N en cada cuartel	36
7	Comportamiento del rendimiento de arándano ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) por fecha de cosecha (01-ene al 06-abr), temporada 2010-2011, por cuartel	37
8	Comportamiento del largo relativo de brotes, en el periodo de medición (7 fechas de mediciones), por tratamiento de N (N), en cada cuartel	39

- 9 Relación entre el crecimiento porcentual final de brotes y el N-mineral promedio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) estimado de 0-40 cm de profundidad de suelo, por tratamiento de N, por cuartel 42

**INDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo</b>		<b>Página</b>
1	Caracterización química del suelo (0-20cm) de los 6 cuarteles con ensayo de N (toma de muestra, Julio 2009)	55
2	Distribución de un sitio de ensayo de N (cuartel) constituido por 15 hileras (o 15 unidades experimentales) y 6 hileras de borde de 10 plantas cada una (circulo color azul)	56
3	Diagrama de la disposición de la toma de submuestras de suelo por unidad experimental	57
4	Fechas de toma de muestras de suelo y medición de largo de brotes por cuartel, temporada 2010-2011	58
5	Procedimiento de cosecha y peso de la fruta por unidad experimental (UE N° 43, 44, etc)	59
6	Concentración promedio y d.s. del suministro de N-mineral del suelo medido de 0-40 cm de profundidad ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en 7 fechas de muestreo entre noviembre 2010 a marzo 2011, por tratamiento de N por cuartel	60
7	Variación del N-mineral promedio presente en 40 cm de profundidad de suelo en 6 cuarteles de ensayo de noviembre 2010 a enero 2011 (primeras cuatro fechas de muestreo de suelo) ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), en el tratamiento control, (tukey, 99%)	62
8	Rendimiento ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) por cuartel y tratamiento de N, temporada 2010-2011	63
9	Rendimiento ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) temporada 2010-2011, y línea de regresión (recta),cuarteles 1, 2, 5 y 6	64

10	Rendimiento (kg planta <sup>-1</sup> ) temporada 2010-2011, y línea de regresión (curva), cuarteles 3 y 4	64
11	Promedio y d.s. del largo de brotes (cm) por fecha de medición, por tratamiento de N y por cuartel	65
12	Comparación de medias de largo de brotes (cm) efectuada entre tratamientos de N por cuartel en dos épocas, temporada 2010-2011	67

## RESUMEN

Este trabajo evaluó la segunda temporada de estudio (2010-2011) del efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de dos variedades de arándano alto (Elliot y Briggita) en plena producción y en rendimiento creciente cultivados en suelo volcánico de la XIV Región de Los Ríos. Para ello se estableció un ensayo de N en cada uno de los seis cuarteles ubicados en cinco huertos de la Región. Cada ensayo constó de cinco tratamientos de N (4 con aplicación de fertilizante N y 1 sin aplicación) con tres repeticiones cada uno. En cada cuartel se evaluó el nivel de N-mineral en el suelo en dos profundidades 0-20 y 20-40 cm, el crecimiento vegetativo (largo de brote) de Noviembre 2010 a Marzo 2011 y el rendimiento de fruto de la temporada. Con los resultados obtenidos se concluyó que: 1) el N mineralizado medido de 0-40 cm durante esta temporada se mantuvo estable y ligeramente al alza a través de la estación, mostrando que la mineralización del N nativo del suelo es dependiente del año, ya que difirió de la del año anterior en que la tendencia fue a una ligera disminución; 2) los niveles de N-mineral medido de 0-20 cm de profundidad son similares a los determinados de 0-40 cm de profundidad, ratificando lo encontrado en la temporada anterior, lo que permite suponer que al medir de 0-20 puede estimarse el contenido de 0-40 cm de profundidad; 3) el N-mineral del suelo aumentó en forma lineal con la dosis de N aplicada en la fertilización, aunque la relación de incremento varió dependiendo de cada cuartel; 4) en general, se mostró que los rendimientos tendieron a disminuir con la dosis de N aplicada, mostrando un efecto de toxicidad por exceso de N en los cuarteles evaluados, aunque existió un aumento de rendimientos con respecto a la temporada anterior de evaluación; 5) el nivel crítico máximo de N-mineral de 0 a 40 cm de profundidad de suelo estuvo entre 30 a 50 mg kg<sup>-1</sup> y fue similar al determinado en la temporada anterior; 6) finalmente, no se determinaron diferencias significativas en el largo de brote promedio (cm) al inicio ni al final de la medición, aunque en todos los casos se mostró un incremento en el largo de brotes con el nivel de N aplicado. Sin embargo, el alto coeficiente de variación determinado en esta evaluación sugiere un replanteamiento en la forma de medición de este parámetro.

## SUMMARY

This work has evaluated the second year on blueberries season yield (2010-2011) affected by nitrogen fertilization. Two varieties of highbush blueberries (Elliot and Briggita) in full-time production and increasing yield were evaluated. Both were cultivated in volcanic soils of the Rivers Region of Chile. A Nitrogen fertilization experiment was established in each of one of six quarters from five orchards in the Region. Each experiment consisted of five N rates (four with different N fertilizer rate and one without N application, also called N levels). Each treatment had three replicates. N-mineral in soil was evaluated in two soil depths 0-20 and 20-40 cm. Also vegetative growth rate was evaluated (shoot length) from November 2010 to March 2011 and the seasons fruit yield was registered. According to the results it is concluded:

- 1) during the season, mineral N measured from 0-40 cm of depth was highly stable and slightly rising through the season. This was different from the previous year evaluation, showing that soil native N mineralization depends on the year;
- 2) mineral N levels measured to 0-20 cm depth compared to 0-40 cm depth were similar, and those also ratified the previous year result and showing that 0-20 depth measure can estimate the amount of mineral N present in 0-40 cm depth;
- 3) soil mineral N increased linearly with N doses applied by fertilization, though each relation was dependant of each orchard quarter;
- 4) generally, in all the experiments blueberries fruit yields decreased with N rate even presenting N toxicity effect in some quarters. This result was besides that yield increased comparing with the previous year in all the quarter orchards evaluated;
- 5) a maximum mineral N critical level was established among 30 to 50 mg kg<sup>-1</sup> and was similar to the previous season evaluated;
- 6) finally, no significant differences were found in the shoot length (cm) because N application. The shoot length seems to increase with N application but the high variation coefficient determined in this evaluation (in each orchards quarter) suggests reconsidering the way to measure this parameter.

## 1 INTRODUCCION

El arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) es una planta frutal nativa de América del Norte, que fue introducida a Chile a fines de la década de los setenta principios de los ochenta, para luego ser incorporado al desarrollo exportador frutícola del país. Hoy en día, Chile, es uno de los principales países exportadores de arándano a nivel mundial.

Producto que la producción de arándano en Chile se ha manejado principalmente en base a recomendaciones agronómicas originadas bajo condiciones edafoclimáticas provenientes de Estados Unidos, surgió el interés por generar antecedentes con respecto al nivel de fertilidad en que se encuentran los suelos con plantaciones de arándanos en producción en la zona sur del país.

Por lo tanto, se planteó como hipótesis de este estudio que el rendimiento de dos variedades de arándano alto en el sur de Chile está en función del nivel de disponibilidad de nitrógeno mineral (N-mineral) presente en el suelo.

Para probar dicha hipótesis, se definió como objetivo general:

- Estimar, mediante análisis químico de muestras de suelo, el nivel de N-mineral disponible de 0-40 cm de profundidad y su efecto en el rendimiento de dos variedades de arándano en producción (Elliot y Briggita) establecidas en un suelo de origen volcánico de la XIV Región de Los Ríos.

Objetivos específicos:

- Determinar los niveles de N-mineral del suelo en dos profundidades de 0-20 cm y 20-40 cm.
- Determinar la evolución estacional del N-mineral del suelo en la temporada de producción.
- Determinar la relación entre la dosis de N aplicada al suelo y los niveles de N-mineral medidos.
- Determinar el nivel crítico de N-mineral en el suelo de manera de alcanzar un rendimiento máximo relativo de fruta por variedad para condiciones edafoclimáticas propias de la zona.
- Evaluar la respuesta del rendimiento de las plantas expuestas a distintas dosis de nitrógeno.
- Evaluar el crecimiento vegetativo (largo de brote) de la planta en función del nivel de disponibilidad de N-mineral del suelo.

## 2 REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Descripción del arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.)

El arándano es una planta frutal perteneciente a la familia de las Ericáceas, género *Vaccinium*, cuyo origen se encuentra en suelos de reacción ácida en áreas pantanosas o arenosas del hemisferio norte especialmente Estados Unidos y Canadá (HANSON y HANCOCK, 1996; VIDAL *et al.* 1999; BAÑADOS, 2005; MEDEL, 1986b). Dentro del género *Vaccinium* se ubican más de 26 especies originadas a partir de selecciones y mejoramiento vegetal de plantas nativas en Estados Unidos (MEDEL, 1986b), en la actualidad, son tres las destacadas comercialmente: arándano alto o highbush blueberrie (*V. corymbosum* L.), arándano ojo de conejo o rabbiteye (*V. ashei* R.) y el arándano bajo o lowbush (*V. angustifolium* A.) (MUÑOZ *et al.* 1987; BUZETA, 1997; KORCAK, 1988). Hacia fines de la década del setenta (año 1979) el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) introdujo a Chile la planta de arándano (MUÑOZ *et al.* 1987). Adaptándose favorablemente a las condiciones agroclimáticas del país el arándano alto y el arándano ojo de conejo (MUÑOZ, 1988). A mediados de los años ochenta se da comienzo a su cultivo con un fin exportador de fruta fresca hacia Estados Unidos (LOBOS, 1988).

El arándano es una planta arbustiva, perenne y de hoja caduca (Sapers *et. al.*, 1984; Sepúlveda 1981, citados por BOWEN, 1986), que dependiendo de la variedad pueden llegar a medir entre 1,5 m a 2,5 m de alto y pueden superar los 20 años (BUZETA, 1997) e incluso los 40 años con un buen nivel productivo (OPAZO, 2006). La planta de arándano se caracteriza por poseer un sistema radical superficial, compacto, fino y fibroso, concentrado en un 80% en los primeros 50 cm (BAÑADOS, 2005) bajo la línea de goteo de la planta con ausencia de pelos radicales característica que la hacen ser una planta en su capacidad de absorción de agua y nutrientes menor que otras especies (BUZETA, 1997; HANSON y HANCOCK, 1996) y muy susceptible tanto a la sequía (Williamson *et al.* 2006, citados por PINOCHET, 2009) como al exceso de agua (Yang 2004 y Bryla 2006, citados por PINOCHET, 2009). Posee un fruto de color azul

claro a azul oscuro denominado baya y que dependiendo del vigor de cada brote o rama, según especie y variedad, tiene un diámetro de 0.7 a 1.5 cm (BUZETA, 1997).

La planta de arándano alto requiere de ciertas condiciones de clima y suelo donde se desarrolla (Hanson y Hull 1986 y Shoemaker 1978, citados por RETAMALES, 1989) y muy particularmente en sus requerimientos de manejo (VIDAL *et al.*, 1999). Plantas calcífugas (que se desarrollan en suelos ácidos) como el arándano requieren suelos, de textura limosa a franco arenosa, de buen drenaje, alta capacidad de retención de agua, abundante estructura de poros producto de su exigencia de humedad y oxigenación del suelo (Hancock y Draper 1989, citados por VIDAL *et al.* 1999; BUZETA, 1997; CHILE, SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE (SQM), 2006), con un contenido de un 10 a un 20% de materia orgánica en los primeros 20 a 40 cm de profundidad y un pH entre 4.2 y 5.5 (HANCOCK y HANSON 1986; FUQUA *et al.* 2005; BRYLA *et al.* 2008; MEDEL, 1986a)

La fruta en arándanos al igual que en otros frutales de carozos como en duraznos y en cerezos se da en yemas florales simples ubicadas en la porción apical del brote de temporada (1 año) las cuales se van visualizando claramente de manera continua en forma basipétala, proceso denominado de inducción y diferenciación floral, una vez terminado el crecimiento del brote, mediados de verano hasta fines del otoño, proceso que se presenta desfasado en cada brote dentro de una misma planta. La diferenciación de yemas florales cesa completamente con la aparición de un clima más frío. La planta de arándano, consta de dos tipos de yemas, vegetativas y reproductivas, cuya diferencia puede ser observada visualmente en la planta, las primeras son algo puntiagudas mientras que las segundas son más grandes y esféricas (PRITTS y HANCOCK, 1992; BUZETA, 1997; BAÑADOS, 2005; BAÑADOS, 2007; BAÑADOS, 2011).

El potencial productivo de la planta de arándano está determinado o tiene una relación directa con el número de cañas y ramillas totales en la planta, el número de yemas florales por ramillas, el tamaño del fruto y el largo y diámetro de la ramilla. Por lo tanto,

se debe contabilizar claramente el número de yemas florales a dejar por hectárea favoreciendo aquellas bien formadas y ubicadas en ramillas de uno o hasta dos flujos de crecimiento (BAÑADOS, 2007; BAÑADOS, 2011). El número de yemas florales en la planta de arándano está relacionado con la variedad, edad de la caña, cañas jóvenes producen más y mejor calidad de fruta, largo de la ramilla (> a 10 cm) ideal 20-40 cm, el largo del periodo cálido, temperatura, iluminación del brote (poda), y en gran medida por la época y largo de la detención del crecimiento vegetativo del brote que depende del vigor de la planta y del momento de la fertilización. Finalmente, se sugiere, siempre se deben dejar en la planta ramillas de 30 cm o más de largo con diámetros mayores a los 4 mm (BUZETA, 1997; MEDEL, 1988; BAÑADOS, 2005; BAÑADOS, 2007; BAÑADOS, 2011). La fruta madura 2 a 3 meses después de la floración dependiendo de la variedad, condiciones climáticas y vigor de la planta (PRITTS y HANCOCK, 1992).

A nivel mundial el arándano alto es el de mayor superficie de cultivo mientras que en Chile representa alrededor del 90% de la superficie total ocupada por esta especie (PINO, 2007) concentrado principalmente entre la VII Región del Maule a la X Región de Los Lagos bajo un clima templado-frío (HIRZEL y RODRIGUEZ, 2003).

La planta de arándano alto se divide en dos grupos de acuerdo a sus requerimientos de frío, los arándanos altos del norte (Northern Highbush) y los del sur (ESPINDOLA, 2007). El arándano alto del norte, dependiendo del cultivar, es el que requiere un mayor número de horas de frío bajo los 7.2°C para salir del receso invernal, que según lo señalado por (ESPINDOLA, 2007), en la zona centro-sur del país se cumpliría hacia fines de Julio. Altas temperaturas, afectan el adecuado desarrollo de esta planta (BAÑADOS, 2009). A este grupo pertenecen las variedades, Elliot y Briggita, entre otras.

La variedad Elliot, se caracteriza por ser una planta de madurez tardía de alto requerimiento de frío (800-1200 horas) para que la yema floral salga del receso invernal y comience la época de brotación y poseedora de una excelente firmeza de

fruto (BUZETA, 1997; BAÑADOS, 2009). Por su parte, la variedad Briggita es catalogada como una variedad semitardía, de muy buen vigor, de fruta grande y dulce de color azul y de un requerimiento de frío menor que Elliot, entre 700 a 900 horas (BAÑADOS, 2009).

## **2.2 Fertilización en arándano**

La fertilización en frutales de hoja caduca se recomienda realizarla en la época de primavera de manera de promover el crecimiento de brotes (RAZETO, 1972; RAZETO, 2003). En plantaciones de arándano PRITTS y HANCOCK (1992) señalan que el inicio de la fertilización está en parte determinada por la actividad de crecimiento de las raíces precisamente a inicios de primavera cuando la planta de arándano comienza su crecimiento.

La planta de arándano según lo señalado por HART *et al.*, (2006); HIRZEL (s.f.) absorbe mayormente nutrientes tales como el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). El N, con una mayor importancia relativa, entre brotación y cuaja, el K más que el P, de cuaja a cosecha y finalmente de cosecha a caída de hojas el K, N y P en orden de importancia.

En cuanto al sistema de aplicación de fertilizantes en arándano en la zona sur del país, en más del 95% de la superficie plantada, se realiza a través del sistema de riego por goteo (fertirrigación) (PINOCHET, 2009).

## **2.3 Nitrógeno (N)**

El N es constituyente de vitaminas, proteínas, ácidos nucleicos, hormonas del crecimiento, acelerador de la división celular y del crecimiento de las raíces, cumple un rol fundamental en la síntesis de clorofila y por ende en la fotosíntesis. Es el responsable directo del desarrollo foliar de las plantas, del crecimiento de los brotes, de la producción del cultivo y el desarrollo de las yemas florales para el periodo productivo

siguiente, siempre y cuando presente un nivel adecuado en los tejidos de la planta (De FRANCESCO, 1987; RAZETO, 1972).

En arándano el N es preferido principalmente en la forma de  $\text{NH}_4^+$  por sobre el  $\text{NO}_3^-$  (BRYLA *et al.* 2008). La planta al absorber el N en forma de  $\text{NO}_3^-$  requiere de la enzima nitrato reductasa, que en arándano es muy poco eficiente, para reducirlo a  $\text{NH}_4^+$  y luego ser metabolizado hasta aminoácidos para ser utilizado en la biosíntesis de proteínas (SPECTRUM ANALYTIC, 2006). Mecanismos precisos de tolerancia a  $\text{NH}_4^+$  en arándano, aún no son conocidos, no obstante puede estar relacionado con una menor necesidad de cationes o una mayor capacidad de sintetizar ácidos orgánicos en comparación con plantas no tolerantes a  $\text{NH}_4^+$  (Salsac *et al.* 1987, citados por ROSEN *et al.* 1990).

HONORATO (2000); MATUS (2006) y RODRIGUEZ *et al.* (2001), señalan que el 95-98% del N total del suelo se encuentra en forma orgánica formando parte de aminoácidos, proteínas y otros compuestos nitrogenados el cual es transformado a N-inorgánico o mineral (2-5% del N total), principalmente  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  por la acción de la biomasa microbiana del suelo (microorganismos y/o bacterias heterotróficas y autotróficas), regulada por el manejo cultural del huerto y las condiciones edafoclimáticas del lugar (temperatura, humedad, pH, aireación, relación C:N presentes en el suelo) (HIRZEL, 2008; ORTEGA y MARDONEZ, 2005; MEDEL, 1988; TISDALE, 1993; URBINA, 1982).

La principal reserva de nitrógeno mineral del suelo se encuentra en la materia orgánica (KORCAK, 1988; HIRZEL, 2008; ORTEGA y MARDONEZ, 2005), en la cual es posible encontrar una fracción activa, N-orgánico activo, y una fracción pasiva, N-orgánico pasivo, conformando ambas fracciones el N-total del suelo. Siendo el N-orgánico activo el que participa de la nutrición durante la temporada de cultivo (RODRIGUEZ *et al.* 2001).

El N-mineral del suelo es descrito como un nutriente de disponibilidad estacional, variable y aleatorio (MATUS, 2006; RODRIGUEZ *et al.* 2001) de suma importancia no solo para la agricultura sino que también para las plantaciones forestales (TEJEDA, 1970; HONORATO, 2000) que se encuentra constituido por el N de reserva presente en la materia orgánica y en los minerales de arcilla del suelo (HIRZEL, 2008).

Debido a la influencia que ejercen los cambios estacionales de la temperatura y humedad presente en el suelo en la actividad e intensidad de los procesos enzimáticos de la biomasa del suelo cambian las tasas de mineralización (ORTEGA y MARDONES, 2005; SILVA y RODRIGUEZ, 1995). Stanford *et al.* (1973), citados por ORTEGA y MARDONEZ (2005) indican que, en general, existe una proporcionalidad directa entre las tasas de mineralización y la temperatura haciéndose menos variable a mayor temperatura. Condición respaldada por HIRZEL (2008) en un estudio realizado en Chile en un suelo volcánico sin cultivo del valle regado de la región del Bio- Bio donde concluyó que el punto máximo en la evolución del N disponible en 20 cm de profundidad en un año se presentó en la época más cálida respecto del periodo invernal, situación similar a la reportada por otros autores pero en suelo calcáreo de textura franco arcillo limosa cultivado con nectarines (Baldi *et al.* 2006, citados por HIRZEL, 2008).

Suelos con alto contenido de aluminio y alofán formarían complejos estables con la materia orgánica, reduciendo la superficie de reacción de ésta a la acción enzimática de los microorganismos durante la primera etapa de mineralización del N (Jackman, 1964 y Broadbent *et al.* 1964, citados por TEJEDA, 1970; Bossatte y Agre 1985, citados por MATUS, 2006; URBINA, 1982). La presencia de Al-extractable, afectaría de forma negativa la velocidad de la mineralización del N del suelo, específicamente, el proceso de oxidación del  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  lo cual provocaría una acumulación del  $\text{NH}_4^+$  (TEJEDA, 1970; Jackman 1964 y Broadbent *et al.* 1964, citados por TEJEDA, 1970). En suelos con 100 ppm o más de Al-extractable Brar y Giddens (1968), citados por TEJEDA (1970) encontraron que la población de microorganismos participantes del proceso de mineralización del N, disminuía. BUZETA (1997), señala que a niveles de

pH bajo 5 las tasas de nitrificación son reducidas Por su parte, Henry y Boyd (1988), citados por ORTEGA y MARDONEZ (2005) agregan que un pH de suelo fuertemente ácido inhibe la actividad de descomposición que ejerce la población microbiana.

BAÑADOS (2005), manifiesta que la absorción de N desde el suelo esta mayormente regulada por la demanda que por la oferta, la cual principalmente se generaría a través de flujo de masas por medio de la absorción de agua necesaria para reponer perdidas por transpiración, al igual como ocurre con la absorción de otros nutrientes como Ca y Mg (Hinsinger 1998, citado por HIRZEL, 2008).

En cuanto a la fertilización nitrogenada Hanson y Hull (1986), citados por RETAMALES (1989), señalan que esta debe ser aplicada todos los años teniendo la precaución con la época u oportunidad y parcialización de la dosis total de aplicación en el periodo de mayor absorción de manera de maximizar la eficiencia de utilización (MATUS, 2006; RODRIGUEZ *et al.* 2001; BRYLA *et al.* 2008). PINOCHET (2009), señala que en la zona sur del país es posible aplicarla en cobertera entre los meses de Octubre y Noviembre aprovechando las mayores precipitaciones coincidentes con el periodo de creciente demanda nutricional en etapa de floración y crecimiento vegetativo. OPAZO (2006) señala que en la mayor parte de las zonas productoras el fertilizante N se aplica en forma de urea.

BAÑADOS (2005) recomienda que la dosis de aplicación del fertilizante N en arándano se debe realizar de acuerdo a la edad y rendimiento de la planta ya que una aplicación excesiva o tardía produciría retraso del crecimiento (elongación) de madera del año (brotes) debido a estímulos sucesivos de flujos de crecimiento aumentando el riesgo de daño durante la época invernal, retraso del desarrollo de las yemas florales hasta muy tarde en otoño exponiéndolas a las bajas temperaturas invernales (RAZETO, 1972; Mainland 1994, citado por VIDAL *et al.* 1999; HART *et al.* 2006; BAÑADOS, 2007), maduración tardía de bayas y desbalance en la planta junto a un excesivo vigor (OPAZO, 2006; BAÑADOS, 2005; FUQUA *et al.* 2005).

Una extracción de N del suelo de 4.4 y 5.0 kg por tonelada de fruta fresca producida por dos variedades de arándano ojo de conejo, fue reportada por (VIDAL *et al.* 1999), cuya diferencia de extracción, se sugiere fue producto que una de las variedades era de producción tardía con un periodo vegetativo más largo, mayor producción de biomasa y por lo tanto, mayor absorción de nutrientes (Núñez 1995, citado por VIDAL *et al.* 1999). En particular, para arándano alto, VIDAL (s.f.) determinó un nivel de demanda o extracción para N, P y K de 4.7, 0.5 y 4.0 kg, respectivamente, por tonelada de fruta producida.

De acuerdo a lo señalado por BAÑADOS (2001) la mayor demanda de N en las plantas frutales de hoja caduca, vides y arándano, se presenta durante los 2 primeros meses desde la brotación (primavera), periodo de crecimiento activo de brotes (RAZETO, 2003; Throop y Hanson 1997, citados por BAÑADOS, 2005; SPECTRUM ANALYTIC, 2006), y tasa de crecimiento y desarrollo de frutos (PERDOMO *et al.* 2001; HIRZEL, 2008; Throop y Hanson 1997, citados por BAÑADOS *et al.* 2006a).

Varios estudios en especies frutales y forestales señalan que el N aplicado al suelo participa en el desarrollo final de los brotes de la temporada aunque más bien determina el crecimiento y las reservas para la próxima temporada. Siendo las reservas de N en las yemas de las plantas las primeras en desaparecer, luego las de la corteza de ramillas (jóvenes) y finalmente las de las raíces BAÑADOS (2001). Cuestión ratificada por un estudio realizado en la zona centro-sur de Chile en arándano alto (*Vaccinium corymbosum L*) y ojo de conejo (*Vaccinium ashei R.*) por (BAÑADOS *et al.*, 2006b) donde se concluyó que los órganos de mayor almacenamiento de N, P y K durante el invierno fueron la corona y raíces, y al momento de producirse un nuevo crecimiento, los brotes.

Síntomas visuales de deficiencias de N como decoloración o amarillamiento del follaje, hojas pequeñas y brotes cortos en la planta es posible que sean un reflejo no solo de la presencia de niveles deficientes en el suelo del elemento en cuestión sino que también

producto de posibles limitaciones de absorción por parte de las raíces (HANSON y HANCOCK, 1996; RODRIGUEZ *et al.* 2001; RAZETO, 1972).

#### **2.4 Superficie, producción y exportación de arándano**

Entre los años 2000 y 2010 se registró un aumento en la superficie de arándanos a nivel nacional de casi 10 veces (BRAVOa, 2012). En cifras publicadas en el estudio "Superficie y Producción Mundial de Arándanos" año 2010 realizado por el US Highbush Blueberry Council, Chile apareció como el país con mayor superficie y producción de arándano en Sudamérica y a nivel mundial segundo después de Estados Unidos (BRAVOb, 2012).

En tanto el retorno económico al país por concepto de exportación en fresco de arándano el año 2000 era de US\$ FOB 29.5 el año 2011 alcanzó los US\$ FOB 429 (valor correspondiente al 10% del total de entradas económicas realizadas ese año por el sector frutícola al país). Hoy en día el principal país exportador de fruta chilena de arándano es Estados Unidos (Banco Central 2012, citado por LEMUS, 2012).

La superficie total de arándano registrada en la actualidad en el país es de 12405.4 ha (CHILE, OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA) y CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS NATURALES (CIREN), 2012).

Por su parte, en la XIV Región de Los Ríos de acuerdo a lo señalado en el catastro frutícola realizado por ODEPA y CIREN (2012) durante los últimos seis años la superficie frutal mostró un progresivo aumento que alcanza el 91.6% (1285 ha), en comparación al año 2006 en que sólo registraba 1403 ha. Destacando especies como el arándano americano con 1519.1 ha (486.1 ha más que lo señalado el año 2006), seguido por cranberry (464.9 ha), frambuesa (275.2 ha) y avellano (260.9 ha). ODEPA (2012) evaluó 260 huertos de arándano y un total de 24 variedades de arándano americano en la región, concluyendo que las cuatro variedades de arándano con mayor superficie plantada son Elliot (468.71 ha), Briggita (330.36 ha), Legacy (296.85

ha) y Duke (105.97 ha) y el mayor número de plantas se encuentran en producción creciente (cálculo realizado en base al año de plantación y el año del catastro), seguidas por plantas en formación, decrecientes y finalmente en plena producción.

### 3 MATERIAL Y METODO

#### 3.1 Descripción del ensayo de campo de nitrógeno y caracterización edafoclimática del sector de ubicación de cada ensayo.

Se establecieron seis cuarteles y un ensayo de N por cuartel en cinco huertos de la XIV Región de Los Ríos. Los cuarteles 1 y 2 fueron ubicados en un huerto mientras que cada uno de los cuatro cuarteles restantes en cuatro huertos distintos. En el Cuadro 1 se muestra la descripción de cada ensayo, por cuartel.

**CUADRO 1 Descripción general del ensayo de N por cuartel.**

Sitio de ensayo	Variedad	Edad productiva*	Superficie ensayo de N (m <sup>2</sup> )	Marco de plantación (m)	Densidad plantación (pl ha <sup>-1</sup> )
<b>Cuartel 1</b>	Elliot	Plena producción	520	3.0 x 0.75	4444
<b>Cuartel 2</b>	Briggita	Plena producción	614	3.0 x 0.75	4444
<b>Cuartel 3</b>	Elliot	Rend. crecientes	699	3.2 x 0.80	3906
<b>Cuartel 4</b>	Elliot	Plena producción	764	3.5 x 0.80	3571
<b>Cuartel 5</b>	Briggita	Rend. crecientes	491	3.0 x 0.60	5555
<b>Cuartel 6</b>	Elliot	Plena producción	573	3.0 x 0.70	4762

\*Plena producción > 7 años y Rendimientos (Rend.) Crecientes 4-7 años.

Cada cuartel fue seleccionado con un nivel productivo alto, óptimo nivel de nutrientes y de pH en el suelo, con una densidad aparente promedio para todos los cuarteles de 0.7 g cm<sup>-3</sup>. En cada cuartel, se tomaron muestras de suelo las cuales fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile, estimándose el nivel de fertilidad de cada uno de los cuarteles para el desarrollo del ensayo de N (Anexo 1).

Una vez obtenidos los resultados de las muestras de suelo inicial de cada cuartel se aplicó, a todos, una fertilización basal de corrección al suelo con otros nutrientes diferentes de N. Con el fin que sus niveles de disponibilidad no afectasen la productividad de los huertos de arándano.

Cada ensayo de N se estableció con un diseño estadístico completamente al azar constituido por cinco tratamientos de N con tres repeticiones cada uno, cuatro con aplicaciones de dosis crecientes de nitrógeno (subóptima (1X), óptima (2X), supraóptima (3X), y excesiva (4X)) más un control (sin aplicación de nitrógeno (0X)) (Anexo 2). La dosis de N aplicada en los ensayos con plantas en rendimiento creciente fue de 55, 110, 165 y 220 kg N ha<sup>-1</sup> equivalente a 25, 51, 76 y 101 kg urea ha<sup>-1</sup> o 17, 33, 50 y 66 g N planta<sup>-1</sup> y en plena producción de 65, 130, 195 y 260 kg N ha<sup>-1</sup> equivalente a 30, 60, 90 y 120 kg urea ha<sup>-1</sup> respectivamente o 20, 39,59 y 78 g N planta<sup>-1</sup>.

La fertilización nitrogenada consistió en la aplicación de urea granular (46% N) en 3 parcialidades cada 21 días entre los meses de noviembre 2010 a enero 2011, en cobertera bajo la línea del gotero de las plantas.

Debido a que los huertos cuentan con un sistema de fertirriego se debió implementar un sistema de cierre manual en cada ensayo de N a través de la instalación de válvulas de cierre con el objeto de dejar paso solo al agua de riego a los ensayos y no de fertilizantes u otros productos que pudiera aplicar cada huerto.

Los ensayos de N fueron ubicados sobre suelos de origen volcánico de la Región XIV de Los Ríos. Estos suelos en Chile según lo señala (Chile, Instituto Nacional de Estadísticas (INE) 1998 y Besoain 1999, citados por SADZAWKA *et al.* 2006a) se encuentran ubicados principalmente entre los paralelos 34° a 44° de latitud sur y que corresponden a casi la mitad (43%) del total de las aproximadamente 5.5 millones de hectáreas arables contabilizadas en el país. Se caracterizan por ser suelos

permeables, friables, de textura franco a franco limosa o franco arcillosa, altos en materia orgánica (8-20%), que poseen entre 60 a 70% de poros, de una densidad aparente de 0.5 a 0.7 g cm<sup>-3</sup>, de pH fuertemente a moderadamente ácido (SADZAWKA *et al.* 2006a; HONORATO, 2000; TOSSO, 1985). Con un nivel de N total en los horizontes superiores medio a alto disminuyendo en profundidad. No obstante, un nivel de N disponible o aprovechable medio a bajo (CHILE, INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES (IREN) – UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE (UACH), 1978). En el Cuadro 2 se muestra la caracterización del suelo de los 6 cuarteles en estudio.

**CUADRO 2 Caracterización del suelo de los cuarteles con ensayo de N.**

Cuartel	Sector	Orden	Familia	Serie	Textura
1 y 2	San José	Andisol	media,mésica	Pelchuquin	franco limosa
3	Rio Bueno	Andisol	media,mésica	Itropulli	franco limosa
4	Pelchuquin	Andisol	media,mésica	Pelchuquin	franco limosa
5	Mafil	Andisol	media,mésica	Pelchuquin	franco limosa
6	La Unión	Andisol	fina, mésica	Rio Bueno	franco arcillo limosa

FUENTE: Adaptado de CIREN (2003) y LUZIO (1997).

La serie Pelchuquin, es un suelo formado a partir de cenizas volcánicas, con una profundidad efectiva de raíces de entre 100 a 150 cm, cuya clase textural hasta los 20 cm de suelo es de tipo media, franco limosa, de muy buenas propiedades físicas, buena aireación y una optima capacidad de retención de agua, humedad, para el crecimiento de las plantas, de buen drenaje. De topografía casi plana con 1 a 3% de pendiente. Fuertemente ácidos en superficie y ligeramente ácidos en profundidad de bajos niveles nutritivos. En estos suelos se esperan respuestas altas a los fertilizantes, fosfatados, nitrogenados y sulfatados (IREN-UACH, 1978; CIREN, 2003).

La serie Rio Bueno, es un suelo que se ha desarrollado a partir de cenizas volcánicas, moderadamente profundo, cuya textura superficial es moderadamente fina de tipo franco arcillo limosa, de buen arraigamiento hasta los 47 cm de profundidad y bien estructurado hasta los 80 cm de profundidad. De topografía casi plana, con 1 a 3% de pendiente y el drenaje moderado (IREN-UACH, 1978; CIREN, 2003).

La serie Itropulli, es un suelo nativo de cenizas volcánicas, moderadamente profundo (hasta 100 cm), de textura franco arcillo limosa, de drenaje moderado y topografía plana con 0 a 1% de pendiente (CIREN, 2003).

Todos los ensayos de N se desarrollaron bajo un sistema climatológico denominado templado lluvioso con influencia mediterránea caracterizado por abundante humedad relativa, bajas temperaturas y abundante precipitación anual con un mínimo en verano (CHILE, DIRECCION METEOROLOGICA DE CHILE, 2001). Distribuidos en el agroclima La Unión (cuartel 6), Rio bueno (cuartel 3) y Mariquina (cuarteles 1,2, 4 y 5), con una temperatura media máxima de 14 a 18°C, una precipitación alrededor de los 1250 a 1350 mm anuales, concentrada entre los meses de mayo a agosto y con una suma de grados días (base 5°C) que fluctúa entre 1850 a 2384 (CHILE, DIRECCION METEOROLOGICA DE CHILE, s.f.; NOVOA y VILLASECA, 1989; Rodríguez 1989; Santibáñez 2012, citados por LEMUS, 2012). En función a su clasificación métrica la temperatura media anual del suelo, de todos los cuarteles, oscilaría entre 8°C a 15 °C con una diferencia de más de 5°C de temperatura del suelo a 50 cm de profundidad entre la época de verano e invierno (LUZIO, 1997).

### **3.2 Evaluación de los ensayos de N**

La evaluación del ensayo de N en cada cuartel consistió en la toma de muestras de suelo de 0-20 cm y de 20-40 cm de profundidad en 7 fechas entre los meses de noviembre 2010 a marzo 2011. Cada muestra estuvo compuesta de 10 submuestras tomadas por unidad experimental (UE) en una superficie de 1 m de ancho por el largo de 8 a 10 plantas según número de plantas establecidas en el cuartel experimental (Anexo 3). Las muestras fueron tomadas con un barreno y colocadas separadamente,

cada una en bolsas de plástico debidamente rotuladas con el nombre del huerto, número correlativo al tratamiento de N específico, repetición y análisis solicitado.

Una vez recepcionadas las muestras de suelo, en el Laboratorio de Suelo del Instituto de Ingeniería Agrarias y Suelo perteneciente a la Universidad Austral de Chile, Valdivia, estas fueron secadas al aire y tamizadas hasta los 2 mm para posteriormente aplicarles el método de análisis químico para nitrógeno denominado extracción con cloruro de potasio (KCl) 2 mol/L, destilación de  $\text{NH}_3$  (amoníaco) y determinación por titulación que extrae las formas de nitrógeno mineral  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y nítrico que pueden estar presentes en el suelo. Este método consiste en pesar 5 g del suelo tamizado, en un recipiente plástico, agregarle 50 ml de la solución extractiva de KCl, agitarlo por 1 hora, filtrar y dejar sedimentar por alrededor de 30 minutos, para luego tomar 10 ml del filtrado, agregarlo a un matraz y aplicarle 0.5 ml de MgO (Oxido de magnesio) y aproximadamente 0.2 g de aleación Devarda para transformar todo el N-mineral a  $\text{NH}_4^+$ , conectar el matraz al destilador recibiendo el destilado, por arrastre de vapor, en un matraz erlenmeyer de 50 ml que contiene 5 ml de ácido bórico (solución indicadora) hasta completar un volumen de 30 ml para finalmente titular el destilado con solución  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Acido sulfúrico) 0.005 N hasta que la solución vire de color verde a rosado pálido. Los resultados fueron entregados en  $\text{mg kg}^{-1}$  (SADZAWKA *et al.* 2006b)

La medición del crecimiento vegetativo consistió en la elección y marcación de 5 brotes del año por planta elegida al azar por repetición en cada tratamiento de N. Estos 5 brotes fueron medidos cada 21 días entre noviembre 2010 a enero 2011 cuyos resultados fueron promediados por cada repetición. Los resultados fueron entregados en cm. Las fechas de muestreo de suelo y medición de brotes se presentan en el Anexo 4.

La medición del rendimiento de fruta por ensayo (cuartel) se realizó en función de la estrategia de cosecha que cada huerto realizó en la temporada de producción entre enero a abril 2011. Se cosecharon todos los frutos de adecuada madurez (fruto completamente azul, firme y con serosidad completa), de todas las plantas de cada

repetición, excepto las plantas descartadas (●) y de separación (■) (Anexo 5), luego se pesaron y se registraron en forma separada por repetición. Toda la fruta recogida desde cada sitio de ensayo fue devuelta al productor para que ésta continúe con el proceso normal de cada huerto.

### **3.3 Análisis estadístico**

Todos los datos de los parámetros evaluados, N-mineral ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), rendimiento de fruta y largo de brote (cm) de la temporada fueron sometidos a análisis estadísticos. Tales como análisis de varianza (ANDEVA) y análisis de comparaciones múltiples por medio de la prueba de TUKEY para aquellas variables que presentaron diferencias estadísticas significativas entre las medias de los distintos niveles de tratamientos, ambos utilizando el programa STATGRAPHICS Plus versión 5.1. Los análisis de regresión lineal y cuadrática fueron obtenidos utilizando el programa estadístico GRAPHPAD PRISM versión 5.0. La presentación de figuras y cuadros de los datos de todos los parámetros estudiados se hicieron por medio del uso de Microsoft Office 2007.

## 4 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

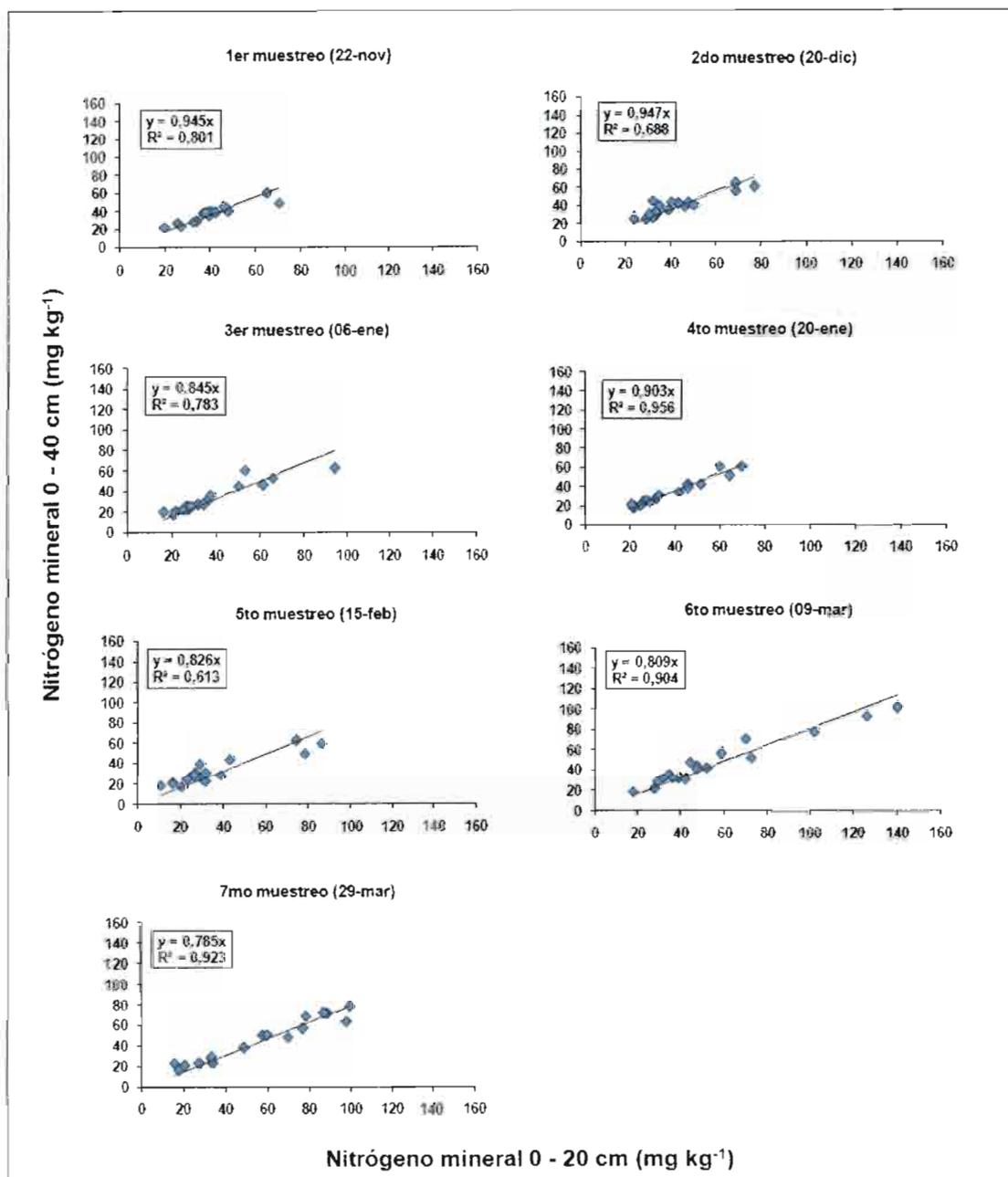
A continuación se presenta el análisis de los datos obtenidos de los parámetros evaluados de manera de dar respuesta a la hipótesis y objetivos de este estudio.

### 4.1 Variación del N-mineral en el suelo

El N-mineral se midió en dos profundidades de suelo 0-20 y 20-40 cm. De esta forma, se conoce la presencia del N en los primeros 40 cm del suelo que es la profundidad enraizable del cultivo de arándano (BAÑADOS, 2005) más conocida en la literatura. Se supone que el arándano es capaz de obtener el N desde esta profundidad de suelo y por ello es interesante conocer la evolución del N-mineral en el suelo en ambas profundidades y determinar si existe relación entre ellas, de forma de facilitar posteriormente las mediciones conociendo solo el N-mineral de 0-20 cm. Los datos de N-mineral ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) se muestran en el Anexo 6.

**4.1.1 Relación entre la concentración de N-mineral medida en dos profundidades de muestreo de suelo: 0-20 cm y 0- 40cm en el tratamiento control.** En la Figura 1 se presenta la variación a través del tiempo de la relación de los valores de N-mineral ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en el tratamiento control (sin adición de N fertilizante). Se evaluaron siete muestreos realizados entre los meses de noviembre de 2010 a marzo de 2011. Los datos de cada fecha de muestreo están constituidos por el N mineral presente en los seis sitios en estudio en ambas profundidades evaluadas.

En todos los casos, se observa que existe una relación con tendencia lineal entre el N mineral presente en los primeros 20 cm y el N mineral presente de 0 a 40 cm de profundidad (Figura 1).



**FIGURA 1** Relación entre el N-mineral del suelo medido a 20 cm y a 40 cm de profundidad en el tratamiento control (sin aplicación de fertilizante N), en cada cuartel evaluado por fecha de muestreo de suelo (siete fechas).

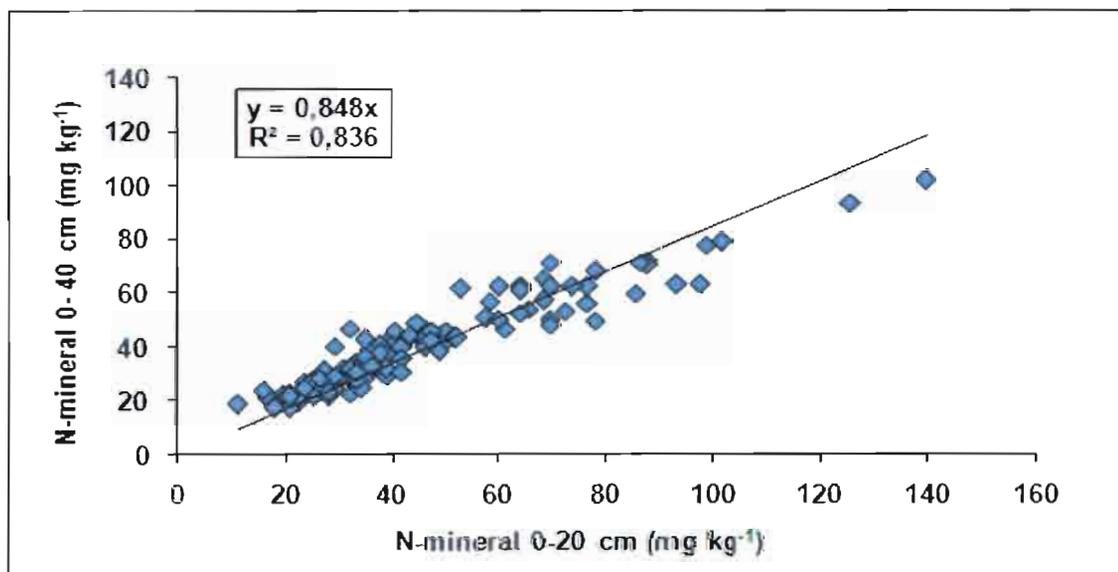
Al aplicar a cada fecha de muestreo una ecuación lineal con un intercepto ajustado al valor de 0, toda la variación queda en la pendiente de la recta (parámetro b) y muestra entonces, la relación entre ambas profundidades de muestreo.

Los resultados del ajuste muestra que en todos los muestreos existe una correlación entre la concentración de N medido de 0-20 y 0-40 cm de profundidad cuya correlación tiene una pendiente muy cercana al valor de 1.0, con una tendencia a ser ligeramente menor que 1 en todos los casos. La variación en el parámetro b fue entre 0.95 y 0.78 a través del tiempo. Los valores menores se observaron durante los muestreos del mes de marzo, pertenecientes a las dos últimas fechas de muestreos. Esto implica que el N de 0-40 es menor que el observado en 0-20 cm, sugiriendo que existe una pérdida del N mineralizado, ya sea por lixiviación o desnitrificación o un aumento del N mineralizado en el horizonte superior. Esto debería ser estudiado con más detalle posteriormente.

Determinándose el mejor ajuste entre ambas variables analizadas, de acuerdo a estos resultados, en el muestreo realizado en el mes de enero y marzo ( $R^2 > 0.92$ ). Y el menor ajuste, tal como se observa en su menor coeficiente de determinación ( $R^2$  0.6) en el mes de febrero. Por lo tanto, de acuerdo a estos resultados, la mejor fecha para la toma de muestras de suelo de 0-20 cm, sería a mediados de enero (20-ene) y a fines del mes de marzo (29-mar) y la peor o menos recomendable a mediados del mes de febrero (15-feb).

Los valores del coeficiente de determinación registrados por LEMUS (2012) fueron inferiores en general a los obtenidos por este estudio (Figura 1), lo que sugiere que es muy probable que la relación para convertir valores de N mineral de 0-20 cm a 0-40 cm esté un poco más cerca de la presentada en el segundo año, que en el primer año.

Una aproximación general es mostrada en la Figura 2, donde se observa la relación general independientemente del huerto y de la fecha de muestreo entre noviembre 2010 y marzo 2011.



**FIGURA 2** Relación entre el N-mineral del suelo medido a 20 cm y a 40 cm de profundidad en el tratamiento control (sin aplicación de fertilizante N), en todos los cuarteles evaluados en las 7 fechas de muestreo de suelo.

Estos resultados muestran que existe una relación entre la medición de N de 0-20 cm y 20-40 cm de profundidad de suelo. Es decir, que por cada 1 mg kg<sup>-1</sup> de N presente de 0-20cm de profundidad de 0-40 cm existiría 0.85 mg kg<sup>-1</sup> entre los meses de noviembre 2010 a marzo 2011 cifra menor a la encontrada de 0.99 mg kg<sup>-1</sup> por (LEMUS, 2012), la temporada de estudio pasada (2009-2010), en los mismos sitios.

En el Cuadro 3 se presentan los parámetros de la ecuación, mostrada en la Figura 2.

**CUADRO 3** Parámetros de la ecuación de regresión lineal, ajustada y automática, de la Figura 2.

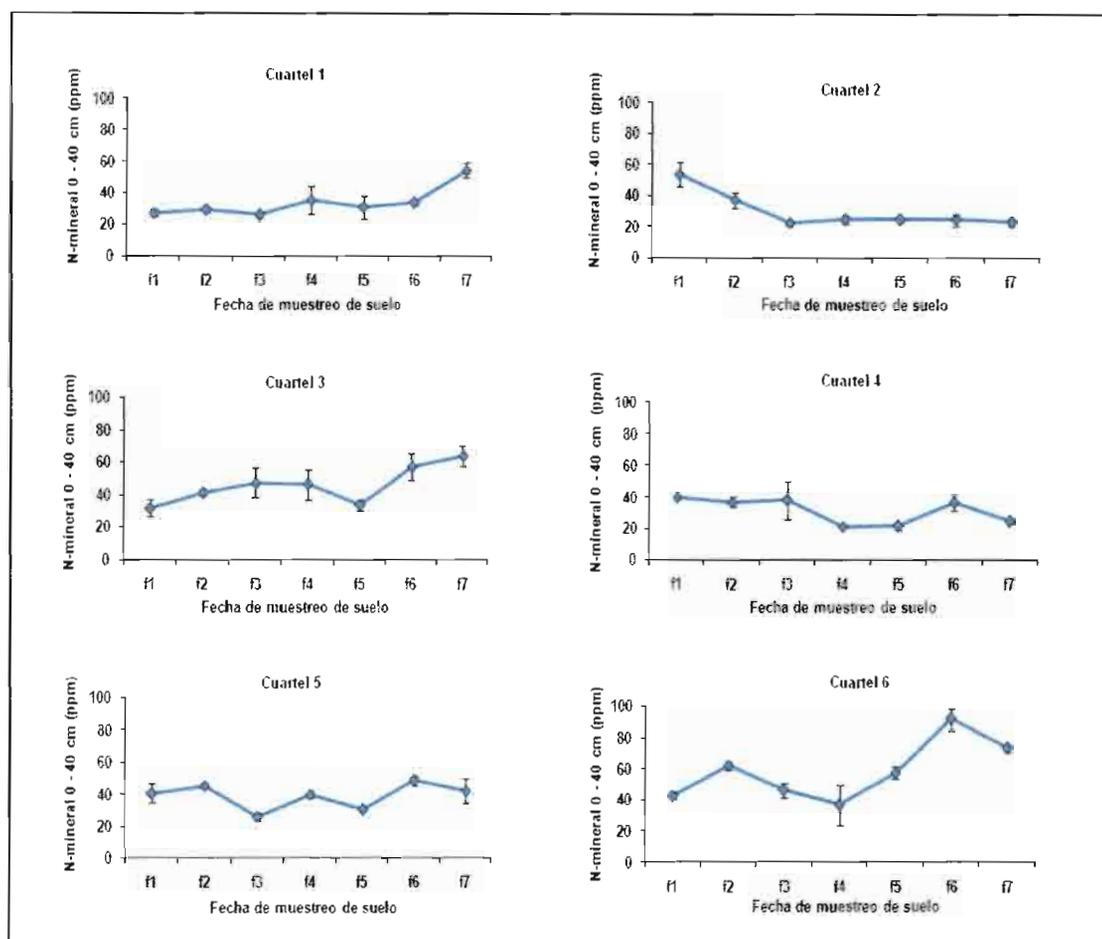
Curva de regresión lineal	Estadísticos				
	Intercepto	Pendiente	Intervalo de la pendiente*	R <sup>2</sup>	Error estándar
<b>Ajustada</b>	0.0	0.848	0.82 a 0.87	0.835	6.8
<b>Automática</b>	9.48	0.680	0.64 a 0.72	0.906	5.2
* con un 95% de confiabilidad					

Al ajustar la curva a un intercepto de valor 0 (línea ajustada), sólo se produjo un ligero cambio en el valor del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), pero se mantuvo en un valor alto, al igual que lo registrado por (LEMUS, 2012) la temporada anterior, sobre 0.8. Por su parte, el intervalo de la pendiente fue mayor y más cercano a 1 que en este estudio. Finalmente el error estándar marcó 1.2 mg kg<sup>-1</sup> más bajo que la temporada anterior.

Durante el primer año de evaluación LEMUS (2012) observó una menor variación en el parámetro b de la pendiente a través del tiempo, lo que sugiere que puede ser dependiente de las precipitaciones pluviales diferentes en cada año. Sin embargo, las diferencias observadas requieren de mayor estudio y de la medición de parámetros no realizados en este estudio.

#### **4.1.2 Variación del N-mineral del suelo en el tiempo en el tratamiento control.**

La Figura 3 muestra la variación estacional del N-mineral de 0-40 cm de profundidad de suelo en el tratamiento control medido en los 6 cuarteles en estudio las 7 fechas de muestreo desde el 22 de noviembre de 2010 (f1) al 29 marzo de 2011 (f7). Se tomó de manera arbitraria como fecha de partida el 01 de noviembre de 2010 de tal forma de abarcar el máximo de estados fenológicos durante la temporada de muestreo.



**FIGURA 3** Comportamiento del N-mineral del suelo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en 40 cm de profundidad por fecha de muestreo de suelo en el tratamiento control (sin aplicación de fertilizante N) en los seis sitios de ensayo (cuarteles).

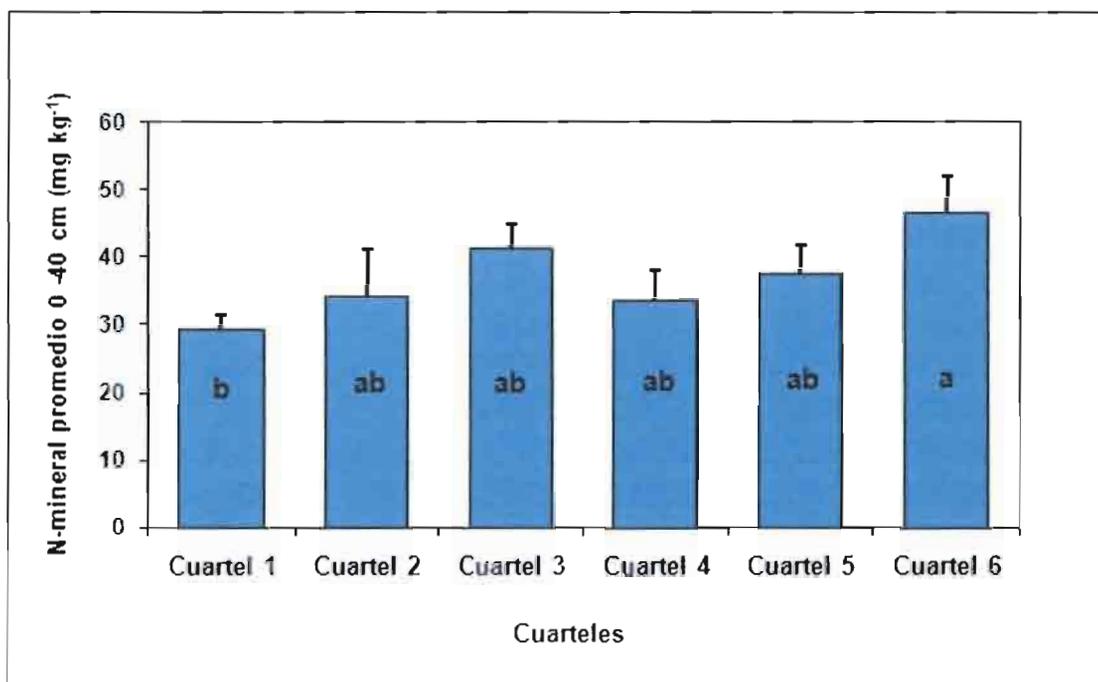
La tendencia observada durante esta temporada en los cuarteles 1, 4 y 5 fue a mantener la cantidad de N-mineral ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) medido a 40 cm de profundidad de suelo en el tiempo. Por su parte, los cuarteles 3 y 6 lo aumentaron, y en el cuartel 2 se produjo una disminución acentuada en las primeras fechas de muestreo (desde la fecha 1 hasta la fecha 3), para luego mantenerse hasta el final de la temporada (f7).

Mientras que en la temporada recién pasada (2009-2010) (LEMUS, 2012) observó, en la mayoría de los cuarteles, una disminución de la cantidad de N-mineral medido a igual profundidad de suelo a medida que transcurría la temporada entre los meses de diciembre de 2009 a abril de 2010, marcando en las primeras fechas de muestreo un aumento del N-mineral y en las últimas, correspondientes al mes de marzo y abril, una disminución.

Estas variaciones con respecto al comportamiento de la mineralización del N-orgánico en el tratamiento control, muestra que la producción de N es variable entre los años y que la cinética de la mineralización puede estar afectada por las variaciones climáticas entre años. Sin embargo, las cantidades de N-mineral fueron similares mostrando que los cuarteles 5 y 6 presentan los más altos contenidos y los cuarteles 1 y 2, los más bajos contenidos de N-mineral.

#### **4.1.3 Concentración del N-mineral del suelo en las primeras cuatro fechas de muestreo de suelo en el tratamiento control.**

El análisis de varianza de los datos de N-mineral ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) presente en los primeros 40 cm de suelo las primeras cuatro fechas de muestreo de suelo entre los meses de noviembre 2010 a enero 2011, en el tratamiento control, en los 6 cuarteles en estudio muestra que la cantidad de N-mineral promedio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) presente en los primeros 40 cm de suelo fue estadísticamente diferente entre los cuarteles analizados con un  $p \leq 0.01$  (tukey) (Figura 4) y (Anexo 7).



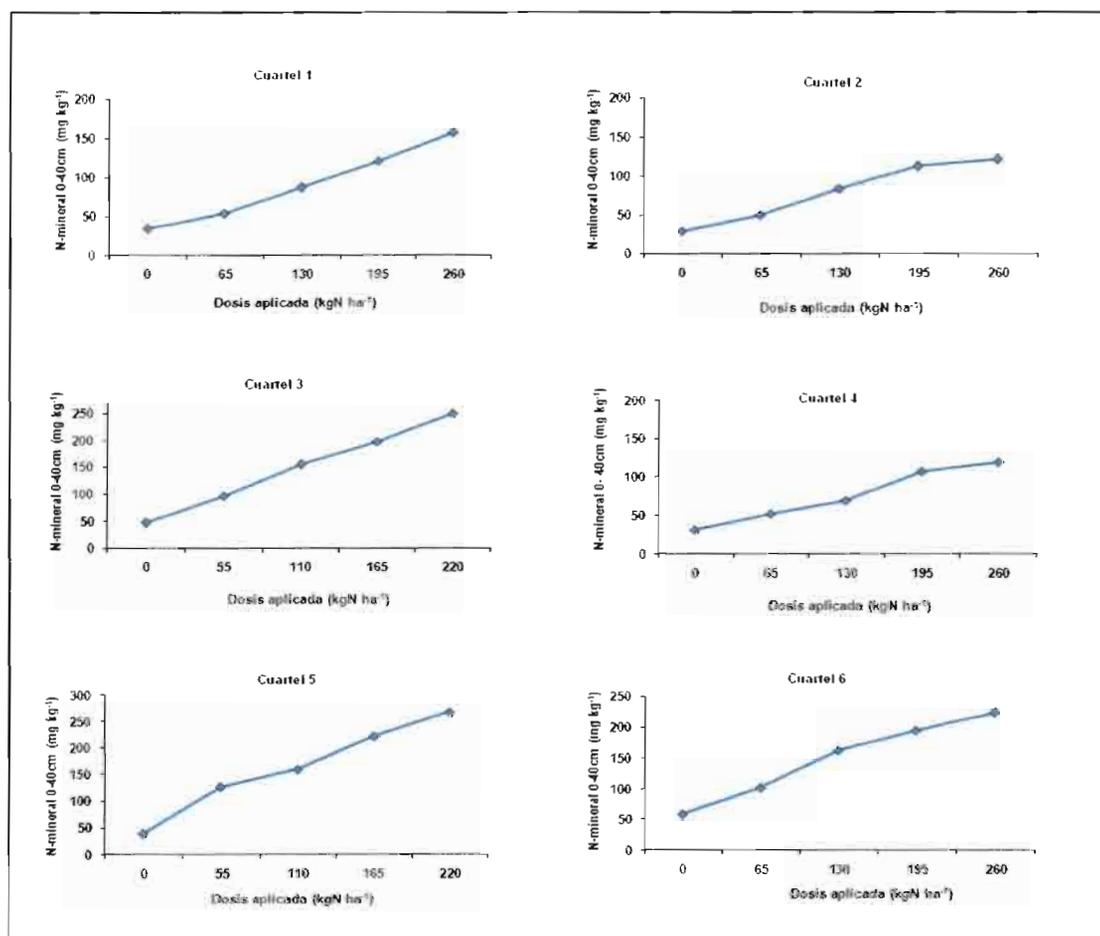
**FIGURA 4** Variación promedio del N-mineral ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) presente en los primeros 40 cm de suelo en las primeras cuatro fechas de muestreo, en el tratamiento control (tukey, 99%).

En la Figura 4 se observa que hubo diferencias significativas entre el cuartel 1 y el cuartel 6, quedando los otros cuarteles en una situación intermedia. De esta forma existieron tres grupos: en el primero destaca el cuartel 6 que presentó mayor suministro de N-mineral respecto de los demás cuarteles con 47 ppm, seguido por los cuarteles 2, 3, 4 y 5 en un grupo intermedio y por último encontrándose el cuartel 1 con 30 ppm de N-mineral en el suelo, durante esta época de medición que es cuando el cultivo absorbe N que puede afectar directamente la concentración de N en los frutos.

El rango de N-mineral encontrado en los 6 cuarteles, concuerda con lo determinado por diferentes autores, como HIRZEL (2003) quien señala que la cantidad de N-inorgánico en suelos de textura franco limoso a franco arcilloso, oscila entre los 20 a 40  $\text{mg kg}^{-1}$ . Por su parte, ROMAN (2009) clasificando el N mineral en categorías para arándanos establecidos, indica que valores < a 20  $\text{mg kg}^{-1}$  el suelo debería ser catalogado como

de nivel bajo, 20-35 mg kg<sup>-1</sup> de nivel medio y > a 35 mg kg<sup>-1</sup> como alto. Esto muestra que los valores encontrados en este trabajo están en niveles medios a altos, lo que concuerda con que el N presente podría ser excesivo para el cultivo de arándanos.

**4.1.4 Relación entre la dosis de N aplicada y el N-mineral del suelo en el tiempo de muestreo.** En la Figura 5, se establece la relación entre la dosis de N aplicada y el N-mineral promedio estimado a una profundidad de 0-40 cm de suelo, correspondiente a siete fechas de muestreo de suelo, por sitio de ensayo (cuartel).



**FIGURA 5** Efecto de la dosis N aplicada (kg ha<sup>-1</sup>) sobre el N-mineral promedio estimado de 0-40 cm de profundidad de suelo (mg kg<sup>-1</sup>) entre noviembre 2010 a marzo 2011, por tratamiento de N.

En la Figura 5, se observa que el nivel de N-mineral en la gran mayoría de los cuarteles y tratamientos se mantuvo sobre los 30 ppm, al igual que lo registrado la temporada anterior (2009-2010) por (LEMUS, 2012).

En el Cuadro 4 se presentan los parámetros de la ecuación lineal ajustada a los valores promedios de N-mineral medidos durante la temporada (7 fechas de muestreo de suelo) en 40 cm de profundidad y dosis de N aplicada al suelo (tratamiento), por cuartel.

**CUADRO 4 Valores de los parámetros de la ecuación lineal, por cuartel.**

Sitio experimental	Parámetros de la ecuación ajustada			
	a	b	R <sup>2</sup>	Sy.x
<b>Cuartel 1</b>	27.53	0.4831	0.8308	21.52
<b>Cuartel 2</b>	29.51	0.3881	0.9070	11.82
<b>Cuartel 3</b>	46.80	0.9255	0.9525	17.27
<b>Cuartel 4</b>	29.47	0.3554	0.8490	14.80
<b>Cuartel 5</b>	52.00	1.0070	0.9070	26.94
<b>Cuartel 6</b>	63.20	0.6518	0.9345	17.04

a: intercepto; b: pendiente; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación; Sx,y: error estándar de la ecuación

En general, se observa (Cuadro 4) una tendencia cercana a la linealidad y en todos los casos (cuarteles) una alta asociación ( $r$ ) entre, ambas variables. La dosis de N aplicada y el N-mineral medido fue alta ( $R^2 > 0.83$ ) ( $p \leq 0.05$ ). Lo cual significa que el incremento en el N-mineral de los suelos fue relativamente constante con la aplicación de la dosis de N al suelo.

En tanto, las pendientes obtenidas, por la aplicación de la ecuación en cada cuartel, no fueron iguales para cada uno de ellos. La mayor pendiente se observó en el cuartel 5 cuyo valor se tradujo en un incremento de 1 ppm de N-mineral en el suelo (0-40 cm) por cada kg de N aplicado. En contraparte los cuarteles que presentaron un menor incremento fueron el 1, 2 y 4 ya que por cada kg de N aplicado al suelo aumentó entre 0.3 a 0.4 ppm de N-mineral. En tanto el cuartel 6 y el cuartel 3 se mantuvieron en una situación intermedia con 65% y 93% del N disponible en el medio.

Estos resultados indican que el N-mineral en el suelo es variable producto de diferentes manejos de los cuarteles y/o pérdidas del N como lixiviación relacionada a las precipitaciones y mal manejo del riego que se haya producido en el cuartel durante la época en estudio, desnitrificación dependiendo del manejo del agua, volatilización producto del tipo de fertilizante N aplicado al suelo (urea) e inmovilización (N momentáneamente retenido) por la carga microbial presente en el suelo por aplicación o uso de "mulch orgánico" o incorporación de residuos vegetales del huerto tales como restos de la poda provocando el denominado "hambre de nitrógeno" al transformar el N-inorgánico a N-orgánico, las cuales no fueron evaluadas por la metodología aplicada en este estudio. A pesar de ello resulta relevante la linealidad que se observa entre el N aplicado y el N-mineral presente. Ello insinúa que bajo condiciones de acidez en los suelos volcánicos existiría una cierta retención del N-mineral<sup>1</sup>, lo que justificaría la linealidad determinada.

#### **4.2 Relación entre el rendimiento de fruto por cuartel y el N-mineral del suelo**

En base a los niveles promedios de N-mineral alcanzados en el suelo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de 0-40 cm de profundidad, en cada tratamiento de N, desde la fecha 1 a la fecha 4 de muestreo, correspondientes a los meses de noviembre del año 2010 a enero del año 2011, y a los rendimientos promedios obtenidos la temporada de producción (2010-2011), se ajustaron dos modelos matemáticos de respuesta, para describir el

---

<sup>1</sup> PINOCHET, D. (2012). Ing. Agr., M. Sc., Ph. D. Instituto de Ingeniería de Agraria y Suelos. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Comunicación Personal.

comportamiento (o determinar si existen diferencias) del rendimiento frente a la fertilización nitrogenada (distintas disponibilidades de N en el suelo), y así, determinar el nivel crítico. Los modelos que mejor se ajustaron a las dos variables en cuestión y a los seis cuarteles experimentales de N fueron un modelo de regresión de primer orden (ecuación lineal) y uno de segundo orden (ecuación cuadrática). En el Cuadro 5 se presentan los valores de los parámetros de ambas ecuaciones. Los datos de rendimiento de la temporada ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) por cuartel se muestran en el Anexo 8.

**CUADRO 5 Valores de los parámetros de la ecuación ajustada, lineal y cuadrática, por cuartel.**

<b>Parámetros de la ecuación de ajuste</b>					
<b>Rendimiento (<math>\text{kg planta}^{-1}</math>)</b>					
<b>Sitio Experimental</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Sy.x</b>
<b>Ecuación Lineal</b>					
<b>Cuartel 1</b>	2.789	-0.0102	-	0.4919	0.4046
<b>Cuartel 2</b>	4.243	-0.0167	-	0.2195	0.7183
<b>Cuartel 5</b>	3.937	-0.0036	-	0.1161	0.7728
<b>Cuartel 6</b>	2.446	-0.0013	-	0.1432	0.2059
<b>Ecuación Cuadrática</b>					
<b>Cuartel 3</b>	1.118	0.0179	-0.0001	0.462	0.349
<b>Cuartel 4</b>	4.495	0.0728	-0.0008	0.605	0.6604

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; Sy.x: Error estándar de la ecuación.

Cada punto en la grafica (Anexo 9 y 10) representa el promedio de rendimiento de cada planta y repetición (tres repeticiones) correspondiente a cada tratamiento (cinco tratamientos). Los coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) determinados para los modelos en general fueron relativamente bajos aunque significativos (Cuadro 5). Este resultado

muestra que en general no fue posible establecer un nivel óptimo de N en los suelos y menos un nivel deficiente, mostrando que en el rango evaluado existe una mayor tendencia hacia el exceso de N-mineral que una deficiencia. En general, se puede establecer que la dosis de N aplicada presentó una tendencia a disminuir el rendimiento de los arándanos de la temporada, en los cuarteles, haciéndose evidente la disminución del rendimiento sobre los  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de N-mineral en el suelo, valor sobre el cual la pendiente se hizo negativa en todos los cuarteles. Este resultado muestra que a mayor cantidad de N-mineral disponible en el suelo el rendimiento decrece.

#### **4.2.1 Relación entre el rendimiento máximo de fruto por cuarteles y el N-mineral**

**del suelo.** El siguiente cuadro (Cuadro 6) muestra los valores de rendimiento promedio máximo ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) obtenidos por temporada y tratamiento de N y el valor promedio de N-mineral del suelo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) con el cual se alcanzó el rendimiento máximo medido desde diciembre a febrero del año 2009-2010 por LEMUS (2012) y noviembre a enero del año 2010-2011 por el presente estudio, en todos los cuarteles.

**CUADRO 6** Valor promedio y desviación estándar (d.s.) del rendimiento máximo ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) obtenido por temporada y del nivel de N-mineral medido de 0-40 cm de profundidad de suelo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), las primeras cuatro fechas de muestreo, por cuartel.

<b>Temporada de producción 2009-2010</b>				
<b>Sitio experimental</b>	<b>Variedad</b>	<b>Rendimiento máximo</b>		<b>N-mineral</b>
		<b>(<math>\text{kg planta}^{-1}</math>)</b>	<b>(<math>\text{ton ha}^{-1}</math>)</b>	<b>(<math>\text{mg kg}^{-1}</math>)</b>
<b>Cuartel 1</b>	Elliot	2.1 ± 0.30	9.3	40 ± 6
<b>Cuartel 2</b>	Brigitta	2.2 ± 0.04	9.7	48 ± 12
<b>Cuartel 3</b>	Elliot	0.4 ± 0.20	1.5	55 ± 6
<b>Cuartel 4</b>	Elliot	2.4 ± 1.03	8.5	45 ± 4
<b>Cuartel 5</b>	Brigitta	3.8 ± 0.46	21.1	55 ± 11
<b>Cuartel 6</b>	Elliot	1.8 ± 0.42	8.5	54 ± 7
<b>Temporada de producción 2010-2011</b>				
<b>Cuartel 1</b>	Elliot	2.4 ± 0.31	9.5 (+2%)*	29 ± 4
<b>Cuartel 2</b>	Brigitta	3.5 ± 0.13	15.0 (+35%)	34 ± 15
<b>Cuartel 3</b>	Elliot	1.6 ± 0.43	7.0 (+79%)	41 ± 7
<b>Cuartel 4</b>	Elliot	6.0 ± 0.98	20.9 (+59%)	34 ± 9
<b>Cuartel 5</b>	Brigitta	3.7 ± 0.34	19.4 (-9%)	38 ± 8
<b>Cuartel 6</b>	Elliot	2.5 ± 0.10	10.7 (+21%)	47 ± 11

\* Valores entre paréntesis, columna  $\text{ton ha}^{-1}$ , indican incrementos o decrecimientos porcentuales entre el rendimiento máximo obtenido la temporada 2009-2010 y 2010-2011.

De acuerdo a los resultados (Cuadro 6), en la mayoría de los casos (cuarteles), durante la temporada 2010-2011, se registraron mayores rendimientos, en relación a los datos obtenidos la temporada anterior 2009-2010, situación que se ajustó a los reportes regionales entregados semanalmente por el Comité de arándanos de Chile la

temporada de producción 2010-2011. Por otro lado, el rango de N-mineral promedio presente en 40 cm de suelo se mantuvo por debajo del registrado por (LEMUS, 2012) la primera temporada de evaluación (2009-2010), siendo en promedio de un valor de  $49,5 \text{ mg kg}^{-1}$  en la temporada 2009-2010 y de  $37,2 \text{ mg kg}^{-1}$  en la temporada 2010-2011.

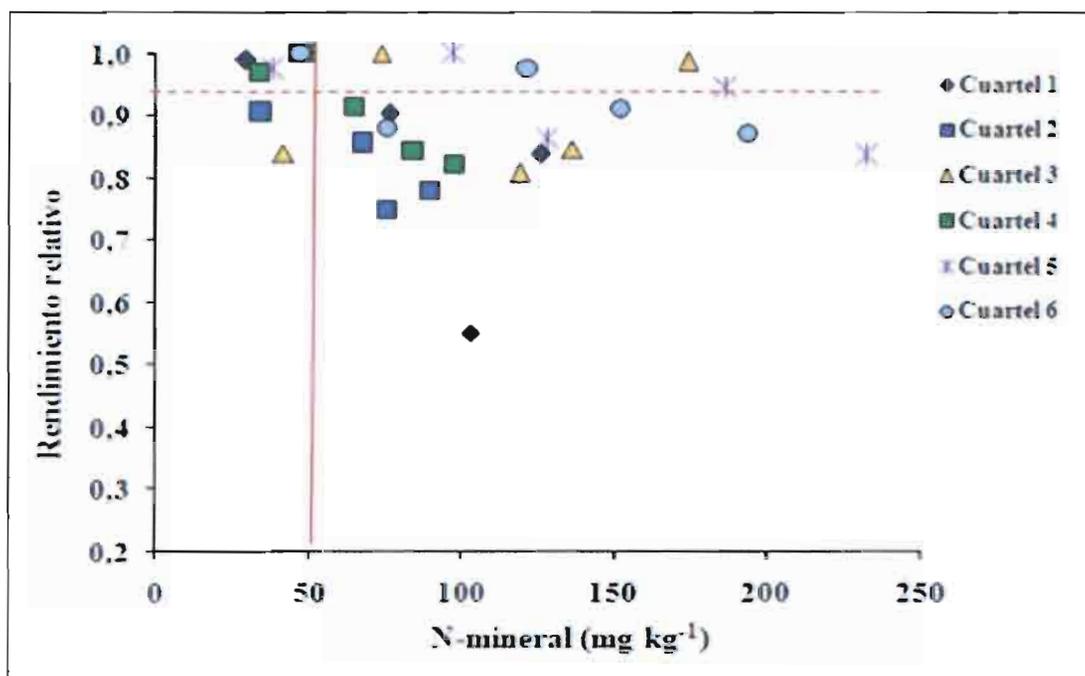
En general, los rendimientos máximos alcanzados por variedad en el estudio se ajustan a la descripción productiva de cada una en particular (Elliot o Briggita), con excepción del rendimiento obtenido en el cuartel 4 (Elliot) que durante la temporada 2010-2011 rindió  $2,4 \text{ kg planta}^{-1}$  más que el promedio de Briggita (cuartel 2 y cuartel 5) y más del doble al registrado la temporada 2009-2010, con tan solo  $34 \text{ mg kg}^{-1}$  de N-mineral en el suelo.

No se presentó efecto de la dosis de N aplicada sobre el momento del peak de cosecha de la temporada ( $\text{kg planta}^{-1}$ ), el cual se mantuvo constante en la primera cosecha, para la mayoría de los sectores evaluados. Es decir, no se movió el momento de mayor cantidad de fruta disponible en la temporada por la aplicación de mayores dosis de nitrógeno.

Por su parte, el rendimiento total obtenido en la temporada 2010-2011 fue cercano y mayor a  $10 \text{ ton ha}^{-1}$  catalogado por Espíndola (2003), citado por LEMUS (2012), como un rendimiento normal para una plantación de arándano bien manejada.

En la Figura 6 se presenta el método de Bernier y Cate y Nelson en los cuales se relaciona la variable de respuesta de la planta en términos de rendimiento con el nivel de disponibilidad de un nutriente en el suelo (BERNIER, 1999; RON, 2003; CABALCETA y MOLINA, 2006). Cada punto en la gráfica corresponde al rendimiento total que obtuvo cada tratamiento en la temporada, expresado en términos relativos, es decir, al cociente entre el rendimiento promedio ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) obtenido en cada uno de los tratamientos en función del rendimiento máximo promedio ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) obtenido, en

cada cuartel en relación al nivel de N-mineral promedio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) presente de 0-40 cm de profundidad suelo en las primeras cuatro fechas de muestreo.



**FIGURA 6** Relación entre el rendimiento relativo (%) y N-mineral promedio medido en 40 cm de profundidad de suelo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) medido entre noviembre 2010 a enero 2011, por tratamiento de N en cada cuartel.

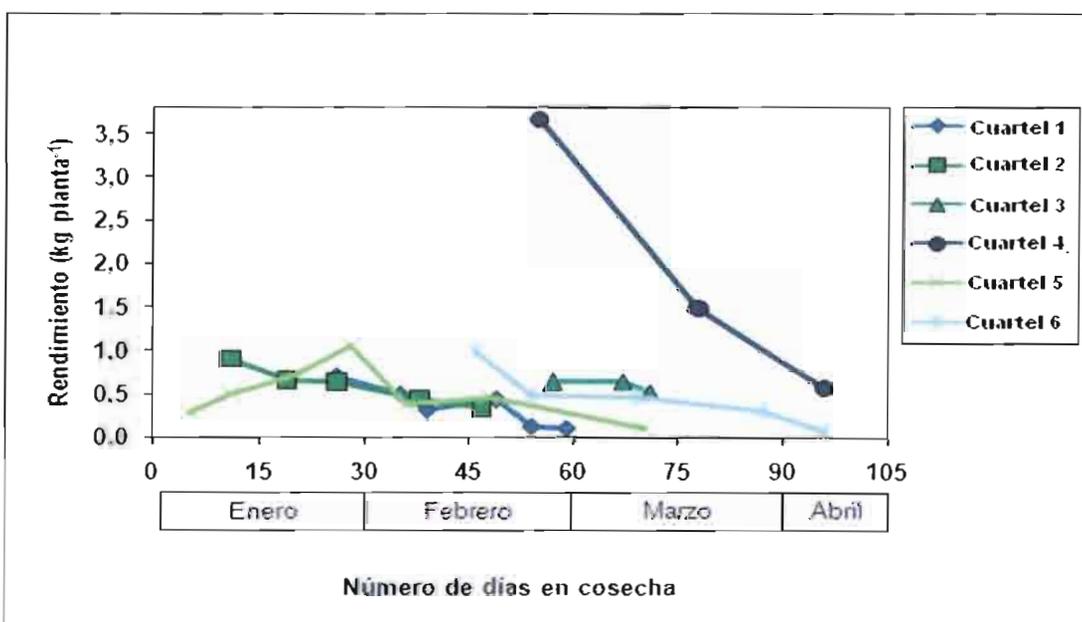
Estos resultados nos permitieron determinar, en el 90-100% de rendimiento relativo, un nivel crítico máximo de N-mineral en el suelo de  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ , sobre el cual la tendencia del rendimiento de la temporada, en la mayoría de los cuarteles, fue a disminuir. El cual se situó dentro del rango señalado por (LEMUS, 2012) para la temporada anterior (2009-2010) de  $40\text{-}55 \text{ mg kg}^{-1}$  como nivel crítico máximo.

Ambas temporadas, presentaron niveles de nitrógeno cercanos y por sobre los  $30 \text{ mg kg}^{-1}$ , en el tratamiento control (N0X), valor considerado como un nivel medio a alto de acuerdo a la escala referencial de interpretación de resultados de análisis de suelo entregada por ROMAN (2009), una vez determinada la profundidad relativa y representativa de las raíces de arándano, de cada huerto en particular. Sin embargo,

este estudio realizó un análisis de 0-40 cm donde la concentración de N-mineral promedio, sin adición de fertilizante N (0X), fue de  $0.85 \text{ mg kg}^{-1}$  por cada  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  presente en los primeros 20 cm de suelo. Por lo tanto, los rangos de N-mineral encontrados de 0-40 cm en el rendimiento máximo (N0X) son altos, lo cual una vez más refleja la existencia de niveles tóxicos de N en todos los cuarteles.

En el caso del cuartel 1, se observa que uno de los tratamientos de N baja considerablemente con respecto a la tendencia que asume el resto lo cual se atribuye a factores no analizados en este estudio y que no se debería al N.

**4.2.2 Variación del rendimiento promedio ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) por variedad de arándano.** La Figura 7 muestra el comportamiento del rendimiento promedio ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) de la temporada de todos los tratamientos de N por fecha de cosecha y por cuartel.

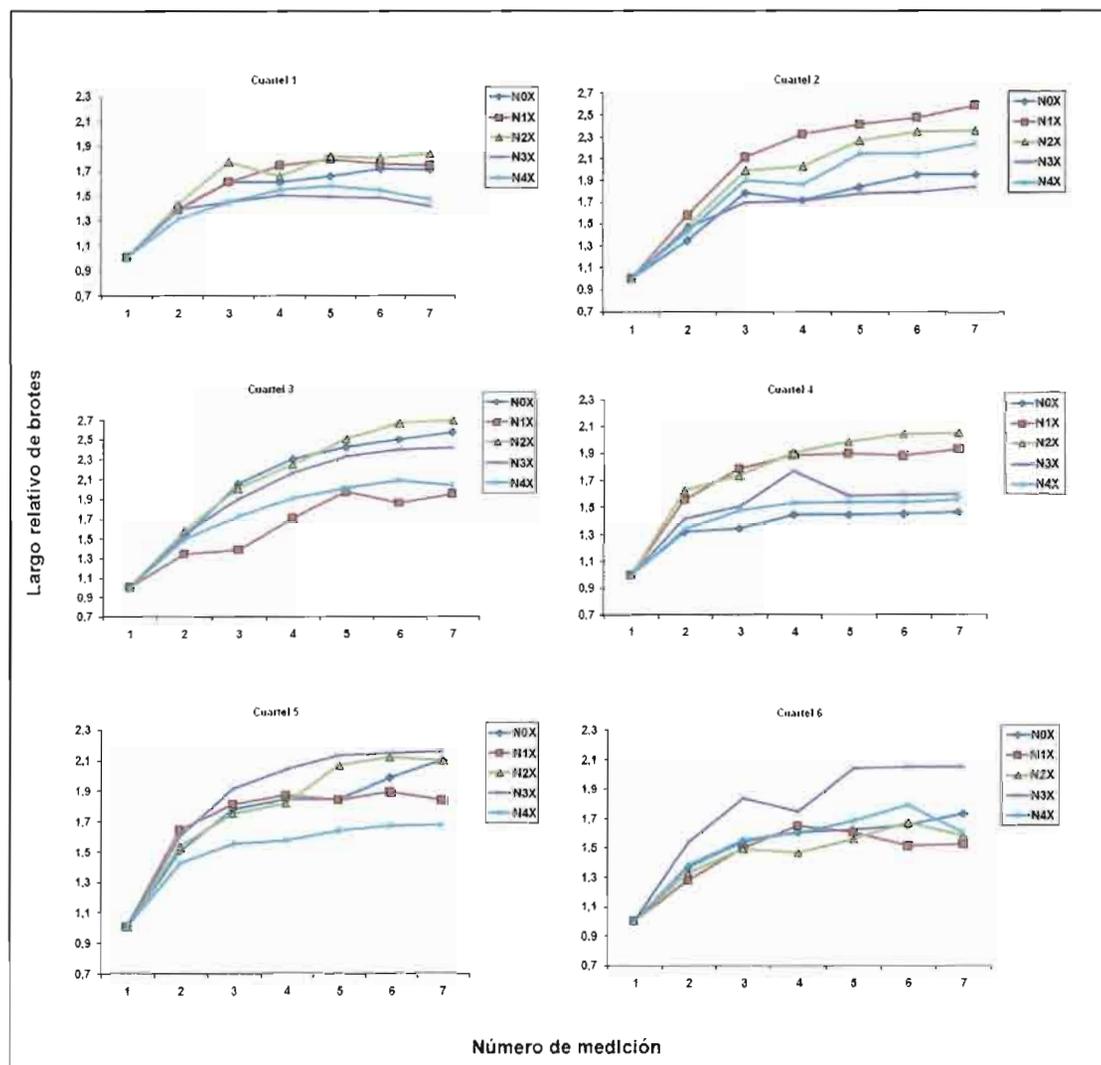


**FIGURA 7** Comportamiento del rendimiento de arándano ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) por fecha de cosecha (01-ene al 06-abr), temporada 2010-2011, por cuartel.

Los resultados de la Figura 7 muestran los días de cosecha a partir del 1 de enero, en la cual se observa que el cultivar Briggita se concentra en los meses de enero y febrero (cuarteles 2 y 5) y Elliot (cuarteles 1, 3, 4 y 6) hacia fines de febrero a mediados de marzo, situación respaldada por el COMITÉ DE ARANDANOS DE CHILE y ASOCIACION DE EXPORTADORES DE CHILE (ASOEX) (2012) como el periodo de mayor volumen cosechado y exportado por la región en la temporada 2010-2011. La duración de cosecha de la temporada se extendió por cerca de 90 días, entre los meses de enero a abril, donde la variedad Elliot fue cosechada hasta la primera semana de abril. La cantidad de fruta colectada varió entre 2 a 6 veces en magnitud de acuerdo a la fecha de cosecha para un mismo cuarteil (cuarteil 6). En la mayoría de los cuarteles, el periodo donde se obtuvo la mayor cantidad de fruta colectada fue entre la primera y segunda cosecha registrándose el mayor peak en la primera (enero-febrero). Esto se debió a la estrategia de los huertos en relación a la época en que requieren la fruta para exportación.

### 4.3 Efecto del tratamiento de N en el suelo sobre el crecimiento de brotes

La Figura 8 presenta el crecimiento de brotes desde la primera medición realizada a mediados del mes de noviembre 2010 a marzo de 2011 en cada uno de los tratamientos de N por cuartel. El largo de brotes fue expresado en término relativos en relación a la primera medición. Los largos promedios absolutos de los brotes (cm) por fecha de medición, por tratamiento de N y por cuartel se presentan en el Anexo 11.



**FIGURA 8** Comportamiento del largo relativo de brotes, en el periodo de medición (7 fechas de mediciones), por tratamiento de N (N), en cada cuartel.

En la Figura 8 se observa que, en todos los cuarteles, el crecimiento relativo de brotes fue exponencial. Los cuales, en su mayoría, en el tratamiento sin aplicación de fertilizante, parten con un crecimiento promedio inicial (mediados de noviembre 2010) de 14 cm con la excepción del cuartel 6 en que se registró un valor promedio de largo de brote inicial menor (9 cm) (Cuadro 7). Aparentemente, la dosis más alta de N (4X), provocó un menor crecimiento de los brotes, en todos los cuarteles. Este efecto que puede ser atribuido a una manifestación de toxicidad por exceso de N, es consonante con el efecto de disminución del rendimiento que se observó con esta dosis más alta de N. De esta forma se ratifica que las dosis de N pueden provocar un efecto detectable de toxicidad de N en la mayoría de los cuarteles y que se reflejó en los altos niveles de N mineral presente en el suelo.

En tanto, la alta variabilidad de esta medición entre los valores inicial y final de cada uno de los cuarteles, no permitió expresar una diferencia estadística entre tratamientos de N para un mismo cuartel, tanto en los valores al inicio como al final de la temporada ( $p > 0.01$ ) (Anexo 12).

Es posible señalar que durante la temporada 2010-2011, en todos los tratamientos de N, en los cuarteles 1, 2 y 3, los brotes crecieron en promedio entre 1.4 y 2.3 veces mientras que en los cuarteles 4, 5 y 6 entre 1.4 y 2.0 veces por su parte LEMUS (2012) para la temporada anterior señaló en los mismos cuarteles un crecimiento de 1.5 a 1.9 veces y de 1.2 a 1.7 veces.

En el Cuadro 7 se muestran las diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) de los valores de largo absoluto de brotes (cm) entre cuarteles por tratamiento de N medidos a inicio de temporada (noviembre 2010) y fin de temporada (marzo 2011).

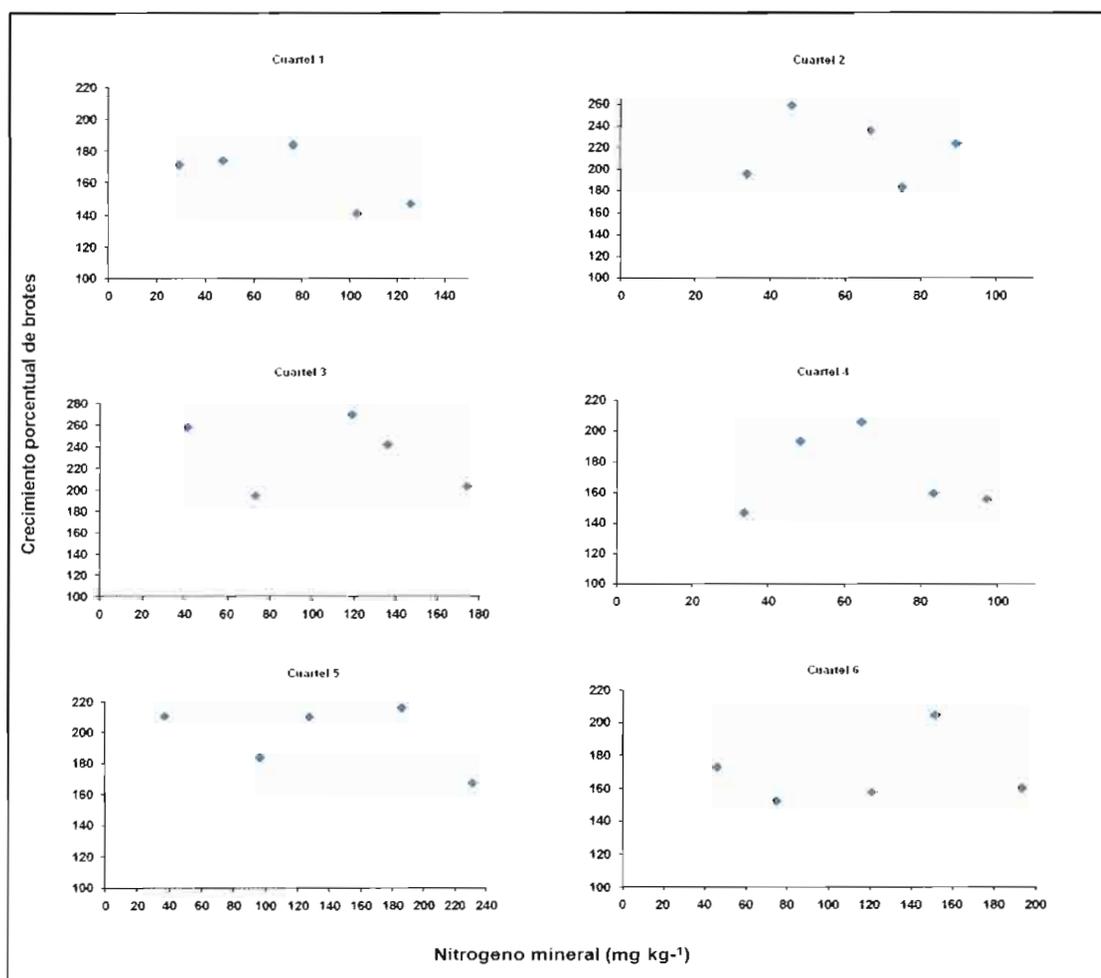
**CUADRO 7 Comparación de medias de largo de brotes (cm) entre los 6 cuarteles por tratamiento de N en dos épocas, temporada 2010-2011.**

<b>LARGO DE BROTES (cm)</b>						
<b>INICIO temporada (noviembre 2010)</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Cuartel 1</b>	<b>Cuartel 2</b>	<b>Cuartel 3</b>	<b>Cuartel 4</b>	<b>Cuartel 5</b>	<b>Cuartel 6</b>
<b>0X</b>	16 a	15 a	12 ab	14 a	14 a	9 b
<b>1X</b>	16 ab	18 a	9 c	13 abc	13 abc	10 bc
<b>2X</b>	18 a	16 a	11 a	16 a	15 a	10 a
<b>3X</b>	17 a	16 ab	12 bc	16 ab	16 a	10 c
<b>4X</b>	20 a	14 ab	10 b	16 ab	14 ab	9 b
<b>Promedio</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>11</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>10</b>
<b>FIN temporada (marzo 2011)</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Cuartel 1</b>	<b>Cuartel 2</b>	<b>Cuartel 3</b>	<b>Cuartel 4</b>	<b>Cuartel 5</b>	<b>Cuartel 6</b>
<b>0X</b>	27 a	29 a	30 a	21 a	29 a	16 a
<b>1X</b>	27 ab	46 a	18 ab	26 ab	24 ab	16 b
<b>2X</b>	32 a	39 a	29 a	33 a	31 a	15 a
<b>3X</b>	24 a	29 a	29 a	25 a	35 a	21 a
<b>4X</b>	29 a	32 a	21 a	24 a	24 a	14 a
<b>Promedio</b>	<b>28</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>29</b>	<b>16</b>

Se determinaron diferencias estadísticas significativas del largo inicial de brote promedio (cm) entre los cuarteles para un mismo tratamiento, con la excepción del tratamiento de N 2X. Este resultado muestra que el largo inicial dependió de la localidad y probablemente del manejo realizado en el cuartel, lo que haría que el tamaño de los brotes sea diferente. Al final de la temporada solo se manifestaron diferencias significativas en el tratamiento de N 1X. Esta menor variación hacia el final de la temporada muestra que los cuarteles alcanzan tamaños de brote relativamente estándares y responde a variaciones correspondientes a la respuesta en crecimiento en productividad tanto de madera y hojas como a frutos. En general, solo el cuartel 6 mostró un menor crecimiento, lo que debería ser evaluado en mayor profundidad, ya que en términos relativos alcanza un valor semejante a los otros cuarteles (tenía un

valor inicial más bajo), lo que hace sospechar de un problema de manejo relacionado con la poda. Sin embargo, esto debe ser ratificado con un estudio posterior.

En la Figura 9, se muestra la relación entre la concentración de N-mineral de las primeras cuatro fechas de medición de 0-40 cm ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) y el crecimiento porcentual final de los brotes, por tratamiento de N, de la temporada por cuartel (es decir la variación en porcentaje del valor inicial).



**FIGURA 9** Relación entre el crecimiento porcentual final de brotes y el N-mineral promedio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) estimado de 0-40 cm de profundidad de suelo, por tratamiento de N, por cuartel.

De acuerdo a la Figura 9, existió una alta variabilidad en los datos sin un patrón único. En general, se observó que hay una disminución del largo de brotes en la medida que las dosis de N fueron más altas, sugiriendo un efecto de toxicidad de N. Sin embargo, la falta de un patrón claro no permite concluir que el largo de brotes haya reflejado esta potencial toxicidad por N. El mayor crecimiento porcentual final de brote por cuartel, fue variable alcanzándose en distintos tratamientos de N. Es así, que en los cuarteles 1, 3 y 4 fue mayor con la aplicación de 110-130 kg N ha<sup>-1</sup> (tratamiento de N 2X), y en el cuartel 2 con la aplicación de 65 kg N ha<sup>-1</sup> (tratamiento de N 1X), mientras que en los cuarteles 5 y 6 fue mayor con la aplicación de 165-195 kg N ha<sup>-1</sup> (que correspondió al tratamiento de N 3X).

## 5 CONCLUSIONES

- Los niveles de N-mineral medido de 0-20 cm de profundidad de suelo son similares a los determinados de 0 - 40 cm de profundidad, ratificando lo encontrado en la temporada anterior, lo que permite suponer que medir de 0-20 puede estimarse el contenido de 0-40 cm de profundidad.
- El N mineralizado medido de 0-40 cm de profundidad de suelo durante esta temporada se mantuvo estable y ligeramente al alza a través de la estación, mostrando que la mineralización del N nativo del suelo es dependiente del año, ya que difirió de la del año anterior en que la tendencia fue a una ligera disminución.
- El N-mineral del suelo medido de 0-40 cm de profundidad aumentó en forma lineal en la temporada con la dosis de N aplicada en la fertilización, aunque la relación de incremento varió dependiendo de cada cuartel.
- El nivel crítico máximo de N-mineral de 0 a 40 cm de profundidad de suelo se determinó en  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  dentro del rango determinado en la temporada anterior.
- En general se mostró que los rendimientos tendieron a disminuir con la dosis de N aplicada mostrando un efecto de toxicidad por exceso de N en los cuarteles evaluados, aunque existió un aumento de rendimientos con respecto a la temporada anterior de evaluación.
- No se determinaron diferencias significativas en el largo de brote promedio (cm) al inicio ni al final de la medición para un mismo cuartel aunque en todos se mostró un incremento en el largo de brotes con el nivel de N aplicado. Sin embargo, el alto coeficiente de variación determinado en esta evaluación sugiere un replanteamiento en la forma de medición de este parámetro.

## 6 BIBLIOGRAFIA

- BAÑADOS, P. 2001. Almacenaje de nitrógeno en plantas frutales y vides durante el invierno. *Revista Agronomía y Forestal UC* N° 12 pp:24-28 (On line) <<http://agronomia.uc.cl>> (20 jun. 2012).
- BAÑADOS, P. 2005. Fisiología del crecimiento, nutrición y poda de arándano. Ciclo de Seminarios Frutícolas de actualización técnico comercial. Berries: Arándanos-Frambuesas. Asociación de Exportadores de Chile A.G (ASOEX). Santiago (Chile). (On line) <[http://www.ptihusco.cl/indicador/documento/biblioteca\\_1077.pdf](http://www.ptihusco.cl/indicador/documento/biblioteca_1077.pdf)> (26 jun. 2012).
- BAÑADOS, P.; STRIK, B. y RIGHETTI, T. 2006a. The uptake and use of <sup>15</sup>N-Nitrogen in young and mature field-grown highbush blueberries. *Acta Horticulturae (ISHS)*. Department of Horticulture, Oregon State University. 715:357-364.
- BAÑADOS, P.; BONOMELLI, C.; GONZALEZ, J. y JIULLERAT, F. 2006b. Dry matter, nitrogen, potassium and phosphorus partitioning in blueberry plants during Winter. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 715:443-448.
- BAÑADOS, P. 2007. Poda del arándano. *Revista Frutícola*. 28(3):116-123. (On line) <[www.copefrut.cl](http://www.copefrut.cl)> (11 jul. 2012).
- BAÑADOS, P. 2009. Factores a considerar en el manejo de arándanos y frambuesas en el sur de Chile. Presentación Seminario II Versión 2009. Alternativas de Manejo Agronómico. Berries. Cooprinsem Osorno. (On line) <[http://cooprinsem.cl/home/servicios/frutales/transferecia\\_de\\_tecnologia/seminarios.php](http://cooprinsem.cl/home/servicios/frutales/transferecia_de_tecnologia/seminarios.php)> (10 sep. 2011).

- BAÑADOS, P. 2011. Claves para la poda de arándanos. Temporada de invierno. Revista agronomía y forestal UC N° 25:28-31 (On line) <<http://agronomia.uc.cl>> (19 ago. 2012).
- BERNIER, R. 1999. Análisis de suelo. Metodología e Interpretación. In: \_\_\_\_\_. Curso de capacitación para operadores del programa de recuperación de suelos degradados, INDAP. Serie acta N°2. Osorno. Chile. pp: 15-26.
- BOWEN, D. 1986. Análisis agroclimático de Chile como productor potencial de arándanos o blueberries (*Vaccinium corymbosum L.*) y arándanos o cranberries (*Vaccinium macrocarpon*) y sus posibilidades en el mercado externo. Tesis Lic. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Escuela de Agronomía. 279 p.
- BRAVO, J. 2012a. Boletín frutícola. Avance enero-febrero 2012. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 26p. (On line) <[www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/Boletines/BFruticola0312.pdf](http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/Boletines/BFruticola0312.pdf)> (03 mar.2012).
- BRAVO, J. 2012b. Mercado de arándanos, sin nubarrones en el horizonte. Octubre 2012. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 10p. (On line) <<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/7886.pdf>> (15 dic. 2012).
- BRYLA, D.; MACHADO, R. y SHIREMAN, A. 2008. Effects of method and level of N fertilizer application on soil, pH, EC, and availability of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  in blueberry. 1p. (On line) <<http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/person/34338/Presentations/ISHSPoster-Brylaetal.2008.pdf>> (11 nov. 2011).

- BUZETA, A. 1997. Chile: Berries para el 2000 [cranberry americano (*Vaccinium macrocarpon*); arandano o blueberry (*Vaccinium corymbosum*); lingonberry o cranberry europeo (*Vaccinium vitis-idaea*); sanddorn (*Hippophae rhamnoides*)]. Fundación Chile. 135 p.
- CABALCETA, G y MOLINA, E. 2006. Niveles críticos de nutrimentos en suelos de Costa Rica. Utilizando la solución extractora Mehlich 3. *Agronomía Costarricense* 30(2):31-44.
- CHILE, CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS NATURALES (CIREN). 2003. Descripciones de Suelos. Estudio Agrológico X Región. Publicación N° 123. 374p.
- CHILE, DIRECCION METEOROLOGICA DE CHILE. 2001. Climatología Regional. Depto. de climatología y meteorología. Publicaciones Climatológicas. 45p. (Online) <<http://www.meteochile.cl>> (15 nov. 2011).
- CHILE, DIRECCION METEOROLOGICA DE CHILE. s.f. Región de Los Ríos y de Los Lagos. Climas de Chile. Climatología de ciudades. Clasificación de climas. (Online) <<http://www.meteochile.cl/climas/climas.html>> (15 nov. 2011).
- CHILE, OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA). 2012. Superficie frutal de la Región de Los Ríos aumentó más de 91% en últimos 6 años. (Online) <<http://www.odepa.gob.cl/articulos/MostrarDetalle.action;jsessionid=89A666F51674B1375068558AD68F7726?idcla=14&idcat=1&idclase=99&idn=7411>> y <<http://www.odepa.gob.cl/menu/CatastroFruticola.action;jsessionid=ED83AECB59D45FA50816917FFFF15B9D?catastro=superficie&reporte>> (20 oct. 2012).

CHILE, OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA) Y CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS NATURALES (CIREN) (2012). Catastro frutícola principales resultados. Región de Los Ríos. Julio 2012. 40p. (On line) <<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/Catastrofruticolas/catastro-XIVRegion-2012.pdf>> (20 oct. 2012).

CHILE, SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE (SQM). 2006. Cultivo estratégico de berries. Fundamentos básicos de nutrición vegetal aplicados a la producción de berries. 10p.

CHILEAN BLUEBERRY COMMITTEE y ASOCIACION DE EXPORTADORES DE CHILE A.G. (ASOEX). 2012. Blueberry crop report. 2010-11. Situación general de la cosecha de arándano en Chile semana 7 y 12-2011. 5p. (On line) <<http://www.comitedearandanos.cl/web/spanish/pdf/17.2.20116.44.17.pdf>> y <<http://www.comitedearandanos.cl/web/spanish/pdf/11.4.201117.29.3.pdf>> (16 abr. 2011).

DeFRANCESCO, J. 1987. Effects of nitrogen and storage time on the quality of highbush blueberry fruits. Tesis Master of Science in Horticulture. Oregon State University. 71p.

ESPINDOLA, L. 2007. Agroclimatología. Arándano. Revista Frutícola. 28(3):128. (On line) <[www.copefrut.cl](http://www.copefrut.cl)> (12 mar. 2012).

FUQUA, B.; BYERS, P.; KAPS, M.; KOVACS, L. y WALDSTEIN, D. 2005. Growing Blueberries in Missouri. Department of Agriculture, Missouri State University. Bulletin 44. 50 p.

- HANCOCK, J. y HANSON, E. 1986. Highbush blueberry nutrition. Cooperative Extension Service. Department of Horticulture. Michigan State University. Extension Bulletin E-2011. New. November 1986. 4p.
- HANSON, E. y HANCOCK, J. 1996. Managing the nutrition of highbush blueberries. Department of Horticulture. Michigan State University. Extension Bulletin E-2011. Major revision, March 1996. 8p.
- HART, J.; STRIK, B.; WHITE, L. y YANG, W. 2006. Nutrient Management for Blueberries in Oregon. Nutrient Management Guide. November 2006. 16 p.
- HIRZEL, J. 2008. El suelo como fuente nutricional. In: \_\_\_\_\_. Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. Colección libros INIA N° 24. Capítulo 2. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán. pp: 51-82.
- HIRZEL, J. y RODRIGUEZ, N. 2003. Factores para mejorar su manejo agronómico. Necesidades nutricionales y fertilización del cultivo del arándano en etapa productiva. Informativo agropecuario. Bioleche. Publicaciones INIA Quilamapu. 3p.
- HIRZEL, J. s.f. Efecto de la nutrición en la calidad y condición de la fruta. (On line) < [www.blueberrieschile.cl](http://www.blueberrieschile.cl) > (10 abr. 2012)
- KORCAK, R. 1988. Nutrition of blueberry and other Calcifuges. Fruit Laboratory, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. Agricultural Research Center, Beltsville, Maryland. U.S.A. 183 – 227.

- LEMUS, C. 2012. Rendimiento de arándano (*V.corymbosum*) var. Elliott y Briggita en función del nivel de nitrógeno en suelos volcánicos del sur de Chile. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 57p.
- LOBOS, W. 1988. El arándano. Seminario Hortofrutícola para la zona sur. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Remehue. Osorno. pp: 57-60.
- LUZIO, W. 1997. Clasificación de suelos. Universidad de Chile. 19 p. (On line) <[http://www.florachilena.cl/Asignaturas/Practica/Material/CLASIFICACION\\_DE\\_SUELOS\\_WLuzio.pdf](http://www.florachilena.cl/Asignaturas/Practica/Material/CLASIFICACION_DE_SUELOS_WLuzio.pdf)> (20 jul. 2011).
- MATUS, F. 2006. Fertilidad de suelos y nutrición de cultivos; desarrollo de la experiencia en Chile. En: Avances en el conocimiento de los suelos de Chile. Universidad de Chile. Fac. de Ciencias Agronómicas. Servicio Agrícola Ganadero. pp: 193-239.
- MEDEL, F. 1986a. Requerimientos climáticos y edáficos para las especies frutales en el sur de Chile. *Agro Sur (Chile)*. 14(1):48-56.
- MEDEL, F. 1986b. Especies y cultivares para la fruticultura del sur de Chile. *Agro Sur (Chile)*. 14(1):57-65.
- MEDEL, F. 1988. Requerimientos de clima, suelo y producción de parillas, grosellas y arándano. *Agro Sur (Chile)*. 16(2):123-131.

- MUÑOZ, C.; GODOY, I.; LAVIN, A. y VALENZUELA, J. 1987. Primeras evaluaciones del comportamiento del arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) en Chile. Agricultura Técnica (Chile). 47 (3): 284-291.
- MUÑOZ, C. 1988. Arándano. Antecedentes generales. In: Lobos, W. (ed). Seminario: El Cultivo del Arándano. INIA Estación experimental Carillanca. Programa Frutales y Viñas. Serie Carillanca N° 2. Temuco. Chile. pp: 5-13.
- NOVOA, R. y VILLASECA, S. 1989. Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA). 221p.
- OPAZO, J. 2006. Calidad de suelo, nutrición y fertilización para arándanos. Aconex (Chile) N° 93: 11-14.
- ORTEGA, R. y MARDONEZ, R. 2005. Variabilidad espacial de la mineralización de nitrógeno en un suelo volcánico de la provincia de Ñuble, VIII Región. Agricultura Técnica. (Chile). 65(2):221-231.
- PERDOMO, C.; BARBAZAN, M. y DURAN, J. 2001. Nitrógeno. Área de suelos y aguas. Cátedra de Fertilidad. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Uruguay. Montevideo. 74p. (On Line) < [www.fagro.edu.uy](http://www.fagro.edu.uy) > (25 jun. 2012).
- PINOCHET, D. 2009. Servicio de diagnóstico y control de la fertilización en arándanos cultivados en suelos volcánicos del sur de Chile. Proyecto FIA (Fundación para la innovación Agraria)-UACH. PYT-2009-0080. 19p.

- PINO, C. 2007. Descripción del desarrollo vegetativo y de las características físicas y químicas de los frutos de cuatro clones de arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.). Tesis Lic. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 64p.
- PRITTS, M. y HANCOCK, J. 1992. Highbush Blueberry. Production Guide. Northeast Regional Agricultural. Engineering Service (NRAES – 55). New York. 200p.
- RAZETO, B. 1972. Fertilización nitrogenada en frutales. Departamento de Producción Agrícola. Facultad de agronomía. Universidad de Chile. Servicio Agrícola y Ganadero. Central de divulgación técnica. 23p.
- RAZETO, B. 2003. La época de fertilización nitrogenada en frutales de hoja caduca. Aconex (Chile). (78):11-14.
- RETAMALES, J. 1989. Fertilización nitrogenada en arándano de arbusto alto. Aconex (Chile). (26):11 15.
- RODRIGUEZ, J.; PINOCHET, D. y MATUS, F. 2001. Fertilización de los cultivos. Santiago.Chile.117p.
- ROMAN, S. 2009. Diagnostico para la optimización del riego y la nutrición de arándano y frambueso. Presentación Seminario !! Versión 2009. Alternativas de Manejo Agronómico. Berries. Cooprinsem Osorno. (On line) < [http://cooprinsem.cl/home/servicios/frutales/transferencia\\_de\\_tecnologia/seminarios.php](http://cooprinsem.cl/home/servicios/frutales/transferencia_de_tecnologia/seminarios.php) > (10 sep. 2011).

- RON, M. 2003. Calibración de análisis de suelos. Niveles y paradigmas. Informaciones agronómicas del Cono Sur. N°17 - Marzo. 5p.
- ROSEN, C.; ALLAN, D. y LUBY, J. 1990. Nitrogen form and solution pH influence growth and nutrition of two Vaccinium clones. University of Minnesota. Journal of the American Society for Horticultural Science 115(1):83-89.
- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; GREZ, R. y MORA, M. 2006 a. Acidificación de los suelos volcánicos de Chile. 8p.  
<<http://www.inia.cl/medios/descargas/CRI/Platina/ResumenesCongresos/2006/2006-001-sadzawka.pdf> > (20 oct. 2011).
- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; GREZ, R.; MORA, M.; FLORES, H y NEAMAN, A. 2006 b. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias La Platina (INIA) y Sociedad chilena de la ciencia del suelo. Serie Actas INIA – N° 34. pp:149 – 153. (On line) < <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33998.pdf> > (30 sep. 2011).
- SPECTRUM ANALYTIC INC. 2006. Fertilizing blueberries. A guide to fertilizing blueberries. Washington Court House. Ohio. Estados Unidos. 46p. (On line). <<http://www.spectrumanalytic.com/support/library/pdf/Fertilizing%20Blueberries.pdf> > (26 ago. 2012).
- SILVA H. y RODRIGUEZ, J. 1995. Fertilización de plantaciones frutales. In: Bonomelli, C. (ed). 1ª ed. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Departamento de Ciencias Vegetales. 519p.

TEJEDA, H. 1970. Factores que afectan la mineralización del nitrógeno en suelos trumaos y no trumaos. *Agricultura Técnica (Chile)* 30(3):126-133.

TISDALE, S.; NELSON W.; BEATON J.; HAVLIN J. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers*. Prentice Hall. 5ª ed. New Yersey. 634p.

TOSSO, J. 1985. *Suelos volcánicos de Chile*. 1ª ed. Instituto de Investigaciones Agrarias (INIA). Ministerio de Agricultura. Santiago. Chile. 723p.

URBINA, A. 1982. *Economía del nitrógeno en suelos de cenizas volcánicas*. 34p.

VIDAL, I.; AMARO, J. y VENEGAS, A. 1999. Evolución estacional de nutrientes y estimación de la extracción anual en arándano ojo de conejo (*Vaccinium ashei* R.). *Agricultura Técnica (Chile)* 59 (4): 309-318.

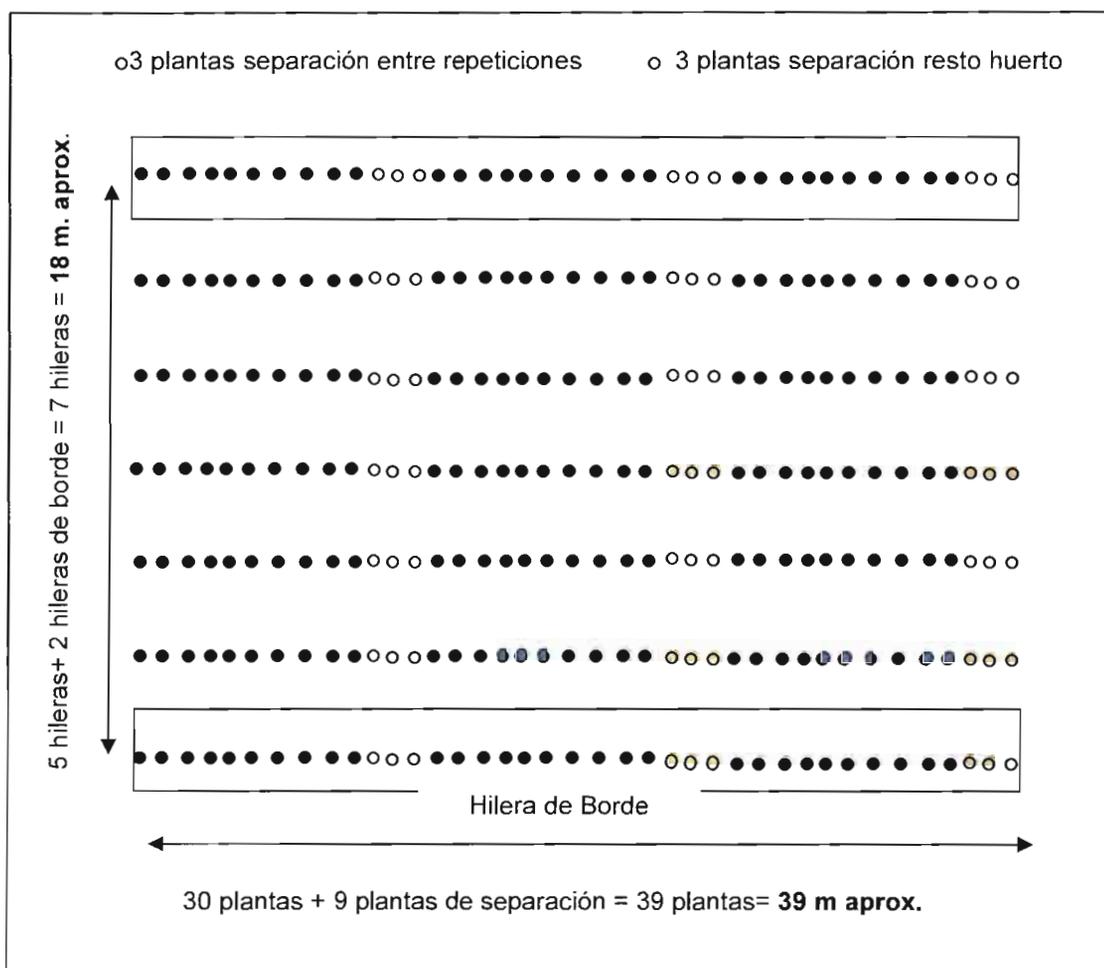
VIDAL, I. s.f. *Fertirriego en berries*. 15 p. (On line) <  
[http://www.redandinatt.com/documentos/Goldenberry/FertirriegoenFrambuesasUdeConcepcion\\_Chile.pdf](http://www.redandinatt.com/documentos/Goldenberry/FertirriegoenFrambuesasUdeConcepcion_Chile.pdf) > (30 sep. 2011).

## 7 ANEXOS

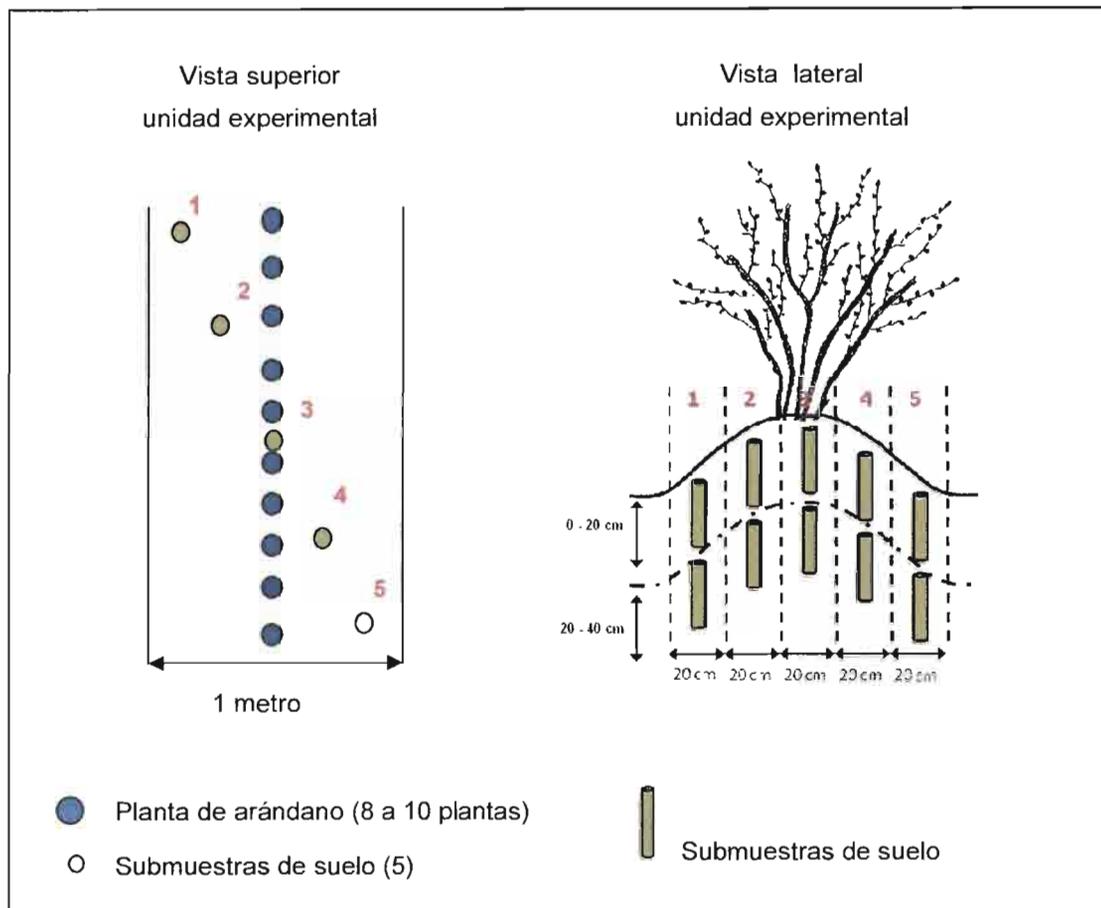
**ANEXO 1 Caracterización química del suelo (0 - 20 cm) de los 6 cuarteles con ensayo de N (toma de muestra, Julio 2009).**

Parámetro	Unidad	Cuartel					
		1	2	3	4	5	6
pH en agua		5.8	5.6	5.9	4.8	4.9	5.7
pH en CaCl <sub>2</sub>		5.3	5.1	5.3	4.4	4.5	5.1
M. Orgánica	(%)	12.2	15.0	13.5	16.1	15.6	15.5
N	(mg/kg)	11.2	21.0	14.0	18.2	86.8	16.8
P	(mg/kg)	12.6	12.0	25.8	12.0	9.0	9.9
K	(cmol+/kg)	93	94	127	67	139.0	130
Na	(cmol+/kg)	0.05	0.06	0.06	0.07	0.16	0.06
Ca	(cmol+/kg)	4.16	4.54	8.4	1.16	1.68	5.18
Mg	(cmol+/kg)	0.79	0.73	0.86	0.43	0.61	1.30
Suma de Bases	(cmol+/kg)	5.25	5.57	9.64	1.83	2.81	6.88
Al int.	(cmol+/kg)	0.07	0.14	0.06	1.08	0.62	0.08
CICE		5.32	5.71	9.70	2.91	3.43	6.96
Sat. Al.	(%)	1.3	2.5	0.6	37.2	18.1	1.2
S	(mg/kg)	42.1	37.2	20.3	10.9	18.7	32.4
B		0.59	0.63	0.44	0.33	0.43	0.55
Zn		1.15	1.54	0.81	1.27	0.16	1.04
Fe		17.18	22.34	28.38	32.67	13.18	42.94
Cu		0.97	1.66	1.43	2.93	0.68	0.82
Mn		3.46	3.68	3.83	1.45	1.18	4.07

**ANEXO 2 Distribución de un sitio de ensayo de N (cuartel) constituido por 15 hileras (o 15 unidades experimentales) y 6 hileras de borde de 10 plantas cada una (circulo color azul).**



**ANEXO 3 Diagrama de la disposición de la toma de submuestras de suelo por unidad experimental.**





**ANEXO 5 Procedimiento de cosecha y peso de la fruta por unidad experimental  
(UE N° 43, 44, etc.).**

