

INFORME DE AVANCE TÉCNICO Y DE DIFUSIÓN

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

(Parte 3)

DR. DANTE PINOCHET TEJOS
COORDINADOR PRINCIPAL

USO INTERNO FIA	
FECHA RECEPCIÓN	



ANEXO: TESIS DE GRADO PRESENTADAS POR ALUMNOS TESISISTAS 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

Macronutrientes secundarios en la nutrición del arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) en suelos volcánicos del sur de Chile

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

Miguel Ángel Toro Pérez

Valdivia – Chile

2012

PROFESOR PATROCINANTE:

Dante Pinochet T.
Ingeniero Agrónomo, M. Sc., Ph. D.
Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos

PROFESORES INFORMANTES:

Juan Nissen M.
Ingeniero Agrónomo, Dr. rer. hort.
Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos

Susana Valle T.
Ingeniero Agrónomo, Dr. Sc. Agr.
Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
	RESUMEN	1
	SUMMARY	3
1	INTRODUCCIÓN	5
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	El cultivo del arándano	7
2.1.1	Características de suelo y clima para el cultivo del arándano	7
2.1.2	Características de los suelos en el sur de Chile	8
2.1.3	El cultivo del arándano en el sur de Chile	8
2.2	Nutrición del arándano	9
2.2.1	El calcio en el arándano	9
2.2.2	El magnesio en el arándano	10
2.2.3	El azufre en el arándano	12
2.2.4	Demanda de macronutrientes secundarios	13
2.3	Diagnóstico nutricional	13
2.3.1	Análisis de suelo	15
2.3.2	Análisis de tejidos	15

3	MATERIAL Y MÉTODOS	19
3.1	Material	19
3.1.1	Ubicación de los ensayos	19
3.1.1.1	Características edáficas de los sitios del ensayo	19
3.1.1.2	Características climáticas de los sitios de ensayo	21
3.1.1.3	Características químicas de los sitios de ensayo	22
3.1.2	Variedades utilizadas	23
3.1.3	Duración de los ensayos	23
3.2	Métodos	23
3.2.1	Diseño experimental	23
3.2.2	Muestreos de suelo	25
3.2.3	Muestreos foliares	25
3.2.4	Medición del rendimiento	26
3.2.5	Análisis del rendimiento relativo	26
3.2.6	Determinación de los niveles foliares de calcio, magnesio y azufre	27
3.2.7	Determinación de calcio, magnesio y azufre disponibles	27
3.2.8	Análisis estadístico	27
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	28
4.1	Niveles de calcio, magnesio y azufre en los suelos estudiados	28

4.1.1	Evaluación de los niveles de calcio en el suelo en el rendimiento del arándano	30
4.1.2	Análisis del rendimiento relativo a distintos niveles de magnesio en el suelo	32
4.1.3	Análisis del rendimiento relativo a distintos niveles de azufre en el suelo	34
4.2	Variación de la concentración de calcio, magnesio y azufre foliar en el tiempo	37
4.2.1	Variación de la concentración de calcio en el tiempo	37
4.2.2	Variación de la concentración de magnesio en el tiempo	39
4.2.3	Variación de la concentración de azufre en el tiempo	42
4.3	Análisis del rendimiento relativo con diferentes niveles de calcio, magnesio y azufre foliar	43
4.4	Rendimiento de las diferentes variedades a distintos niveles de disponibilidad de calcio, magnesio y azufre en el suelo	47
5	CONCLUSIONES	51
6	BIBLIOGRAFÍA	52
7	ANEXOS	57

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Características de las series de suelo y agroclima correspondiente a cada sector donde se ubicaron los ensayos	19
2	Características de textura y Densidad aparente (Da) de las diferentes series de suelo de los sectores donde se establecieron los diferentes ensayos	20
3	Principales características agroclimáticas de los distintos sectores donde se encontraban los huertos	21
4	Características químicas de los diferentes cuarteles donde se establecieron los ensayos	22
5	Distribución de los ensayos en los diferentes huertos	24
6	Contenido de potasio en el suelo a distintos niveles de magnesio, muestreados en el final de la temporada	33
7	Rangos normales de concentración foliar del arándano para calcio, magnesio y azufre encontrados en diferentes publicaciones	45
8	Rendimientos promedios y diferencias entre grupos, de los tratamientos sin y con fertilización de calcio, magnesio y azufre, en distintos niveles de disponibilidad en el suelo	48

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Signos de deficiencia de calcio en arándanos	10
2	Signos de deficiencia de magnesio en arándanos	11
3	Signos de deficiencia de azufre en arándanos	12
4	Relación entre la concentración de nutrientes en el tejido y el rendimiento relativo	14
5	Cambios en la concentración (%) de los macronutrientes secundarios a nivel foliar medidos desde cuaja de fruto (mayo), hasta el final de la cosecha (agosto) para el hemisferio norte	17
6	Ejemplo de la unidad experimental utilizada en el estudio	24
7	Detalle de las válvulas de corte instaladas en las líneas de fertirriego de los diferentes cuarteles	25
8	Toma de muestras foliares del tercio medio de las ramillas del año	26
9	Niveles de suelo para calcio (a), magnesio (b) y azufre (c), en los cuarteles seleccionados para la evaluación de rendimiento	28
10	Análisis del rendimiento relativo del arándano en relación a distintos niveles de calcio en el suelo	31
11	Análisis del rendimiento relativo del arándano en relación a distintos niveles de magnesio en el suelo	34

12	Análisis del rendimiento relativo del arándano en relación a distintos niveles de azufre en el suelo	35
13	Análisis foliar de la concentración de calcio en el tiempo, en las variedades Brigitta (a) y Elliot (b), a distintos niveles de disponibilidad de calcio en el suelo	37
14	Análisis foliar de la concentración de magnesio en el tiempo, en las variedades Brigitta (a) y Elliot (b), a distintos niveles de disponibilidad de magnesio en el suelo	40
15	Análisis foliar de la concentración de azufre en el tiempo, en las variedades Brigitta (a) y Elliot (b), a distintos niveles de disponibilidad de azufre en el suelo	42
16	Análisis del rendimiento relativo en diferentes concentraciones foliares para calcio (a), magnesio (b) y azufre (c), para las variedades Brigitta y Elliot	44
17	Relación del rendimiento entre el tratamiento con y sin fertilización de calcio, magnesio y azufre	49

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Rendimientos de los diferentes tratamientos, en los distintos niveles de disponibilidad de calcio en el suelo	57
2	Rendimientos de los diferentes tratamientos, en los distintos niveles de disponibilidad de magnesio en el suelo	58
3	Rendimientos de los diferentes tratamientos, en los distintos niveles de disponibilidad de azufre en el suelo	59
4	Concentración de calcio foliar para los diferentes niveles de disponibilidad de calcio en el suelo, por variedad	60
5	Concentración de magnesio foliar para los diferentes niveles de disponibilidad de magnesio en el suelo, por variedad	60
6	Concentración de azufre foliar para los diferentes niveles de disponibilidad de azufre en el suelo, por variedad	61

RESUMEN

La introducción de nuevos rubros frutícolas en la zona sur de Chile, trae consigo prácticas tecnológicas validadas en distintas condiciones de producción que las realizadas en nuestro país. Por esto, este estudio evaluó la hipótesis: “los actuales parámetros de disponibilidad en los suelos volcánicos de los macronutrientes secundarios calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en el cultivo del arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.), son adecuados para su producción en la zona sur de Chile”. El objetivo de esta investigación fue evaluar una herramienta de diagnóstico nutricional para Ca, Mg y S, encontrando niveles críticos tanto en suelo como foliar para establecer parámetros de control de la fertilización, y determinar si existe alguna limitante para la producción analizando el rendimiento del cultivo.

Para esto se realizaron ensayos durante la temporada 2009 – 2010, en diferentes huertos de la zona sur de Chile con diferentes valores de disponibilidad de Ca, Mg y S, donde se establecieron dos tratamientos para cada nutriente en cada nivel, un tratamiento sin fertilizar y un segundo tratamiento con fertilización, de forma de evaluar como única limitante el macronutriente estudiado. En cada tratamiento, se midió el rendimiento total y se realizó la comparación del rendimiento en términos relativos para determinar el nivel crítico de producción. Además, se realizaron muestreos foliares cada 21 días en los tratamientos sin corrección nutricional, desde fruta verde hasta el término de cosecha, observando la variación de la concentración foliar de los macronutrientes secundarios, para establecer parámetros de diagnóstico nutricional. Los rendimientos fueron analizados estadísticamente a través de ANDEVA y pruebas de Tukey ($p < 0,05$) para la separación de las medias.

Durante la temporada evaluada, no se determinó un nivel crítico preciso en los suelos para Ca, Mg y S, ya que los mínimos valores de disponibilidad evaluados, no fueron limitantes para la producción. Las variaciones de la concentración foliar en el período de muestreo incrementó para el Ca, se mantuvo constante para Mg y disminuyó para el S. No se determinaron diferencias en la concentración foliar al comienzo del período

de muestreo (diciembre, enero), para niveles bajos y altos de disponibilidad evaluados, en la concentración de Ca y Mg, presentando sus diferencias en el final del período de evaluación (abril). Para S, las diferencias en concentración foliar se presentaron al comienzo de los muestreos, obteniéndose concentraciones foliares similares al final de la temporada, independientes de la disponibilidad. Por su parte, Ca y S no mostraron niveles críticos foliares, a diferencia del Mg, que presentó un nivel crítico foliar. Sin embargo, no se pudo descartar que este nivel crítico pueda deberse a un problema de absorción, reduciendo la disponibilidad de Mg. Los rendimientos en todos los ensayos fueron estadísticamente iguales entre los tratamientos con fertilización y los sin fertilización, lo que muestra que no existieron problemas en la producción, debido a la nutrición por macronutrientes secundarios.

SUMMARY

The introduction of new fruit items in the southern zone of Chile brings with it validated technological practices in different production conditions than those seen in our country. For that reason, this study evaluated the hypothesis: "the current parameters of availability of the secondary macronutrients calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulfur (S) in volcanic soils used to cultivate highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.), are suitable for its production in southern Chile." The objective of this research was to evaluate a nutritional diagnostic tool for Ca, Mg and S, finding critical levels in both the soil and foliage in order to establish fertilization control parameters, and determine whether any limiting factor of production exists by analyzing the crop yield.

Tests were conducted during 2009 - 2010 season using different orchards in southern Chile with varying values of availability of Ca, Mg and S. Two treatments were established for each nutrient at each level, an unfertilized treatment and a treatment with fertilization, so that the macronutrient being studied was the only limiting factor. With each treatment we measured the total yield and completed a yield comparison to determine the critical level of production. In addition, every 21 days leaf samples were taken from the treatments without nutritional correction, beginning with the unripe fruit and continuing until the end of harvest, observing the variation in foliar concentration of secondary macronutrients in order to establish the nutritional diagnosis parameters. The yields were statistically analyzed by ANOVA and Tukey tests ($p < 0.05$) for mean separation.

During the tested season, the precise critical levels of Ca, Mg and S in the soil were not determined because the evaluated minimum levels of availability did not limit production. The variations of foliar concentration during the sampling period were as follows: Ca increased, Mg remained constant, and S decreased. Although differences in foliar concentration of Ca and Mg at the low and high availability levels were not observed at the beginning of the sampling period (December, January), they were exhibited at the end of the evaluation period (April). For S, the differences in

concentration presented at the beginning of sampling but similar foliar concentrations were present by the end of the season, independent of availability. In turn, Ca and S did not show critical foliar levels, unlike Mg, which did present a critical foliar level. However, it cannot be ruled out that the shown critical level could be due to an absorption problem that reduced availability of Mg. The yields in all trials were statistically equal between the treatments with fertilization and those without fertilization, showing no problems exist in production due to secondary macronutrient nutrition.

1 INTRODUCCION

El arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) es un arbusto frutal originario de Norteamérica perteneciente a la familia de las Ericáceas y al grupo de frutas denominadas comercialmente como berries. Este cultivo fue introducido al país en la década del 80 comenzando su producción a principios de los 90. Actualmente, Chile es el mayor productor de arándano del hemisferio sur con aproximadamente 12.000 ha plantadas, posesionándose como el principal abastecedor de los mercados de Estados Unidos, aprovechando la contraestación de la producción que va desde finales de noviembre, hasta principios de abril.

Las estrategias de tecnologías de manejo de fertilización generadas para este cultivo provienen mayoritariamente de Estados Unidos, con calibraciones para los estándares nutricionales del cultivo generadas bajo manejos y condiciones de producción totalmente diferentes a las realizadas en nuestro país. Estas herramientas tecnológicas requieren de su validación y/o recalibración y validación para las condiciones del sur de Chile, ya que no han generado los resultados esperados, debido probablemente a las distintas condiciones edafoclimáticas: suelos derivados de cenizas volcánicas, con altos contenidos de materia orgánica, pH ácidos y elevada porosidad, entre otras. Un estudio realizado por el Instituto de Ingeniería Agraria y Suelo de la Universidad Austral de Chile, diagnosticó el estado nutricional de más de 100 huertos de la zona sur¹, mostrando como resultado una alta frecuencia de huertos con deficiencias nutricionales y un exceso de Al^{+3} , elemento tóxico que se hace disponible para las plantas en pH bajos. Esto ha significado importantes pérdidas económicas, por no alcanzar a rendimientos óptimos y/o detrimento en la calidad de la fruta cosecha. En el caso del calcio (Ca) se diagnosticó que un 25% de los huertos presentaban rangos inferiores a los establecidos en los estándares internacionales para análisis foliares, a su vez se encontraron deficiencias del 60% para magnesio (Mg) y 50% para el azufre (S), lo que

¹ PINOCHET, D y MAC DONALD, R. 2008. Niveles nutricionales en huertos de arándanos en el sur de Chile. Universidad Austral de Chile, UACH. Valdivia, Chile. Presentación para productores.

genera la inquietud de comprobar si estos niveles bajos son responsables de generar una menor producción.

El problema es relevante, ya que los costos de la fertilización corresponde aproximadamente al 14% de los costos operacionales y al 25% de los costos de los insumos en un huerto en producción, por lo que una optimización de este recurso va a traer consigo mejoras productivas y éstas a su vez van a reflejar aumentos en los márgenes económicos de los productores ya que mejoraría la calidad del producto.

Es por esto que se ha planteado la siguiente hipótesis: "los actuales parámetros de disponibilidad en los suelos volcánicos de los macronutrientes secundarios: calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) en el cultivo del arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.), son adecuados para su producción en la zona sur de Chile".

El objetivo general fue:

Evaluar una herramienta de diagnóstico nutricional de disponibilidad en el suelo y diagnóstico foliar de los macronutrientes secundarios (Ca, Mg y S) para el cultivo del arándano alto, en los suelos volcánicos del sur de Chile².

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Determinar el nivel crítico de disponibilidad en el suelo para Ca, Mg y S, en función del rendimiento de fruta en arándano alto en suelos volcánicos del sur de Chile para problemas de deficiencia o toxicidad nutricional.
- Evaluar los niveles foliares de Ca, Mg y S en rangos extremos de disponibilidad del nutriente en el suelo, para analizar su variación estacional en la planta y las diferencias entre niveles altos y bajos de disponibilidad.
- Analizar los distintos niveles de concentración foliar de Ca, Mg y S con los rendimientos relativos obtenidos, para determinar un nivel crítico foliar donde se registre una disminución en el rendimiento.

² Tesis financiada por el Proyecto FIA, 2009. Servicio de diagnóstico y control de la fertilización en arándanos cultivados en suelos volcánicos del Sur de Chile. Universidad Austral de Chile. PYT – 2009 – 0080.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 El cultivo del arándano

El arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) conocido también como “Highbush blueberry” es un arbusto frutal nativo principalmente del hemisferio norte, considerado dentro del grupo de los berries, pertenece a la familia Ericáceas y ha sido clasificado en la subfamilia Vacciniaceae, subgénero Cyanococcus, género *Vaccinium* (MUÑOZ, 1988; SUDZUKI, 2002). La familia de las Ericáceas, que es un grupo de especies con característica acidofilicas, es decir adaptadas para crecer en suelos ácidos (KORCAK, 1988).

Dentro de las especies más importantes en producción se encuentra el arándano alto, originario de la costa este de Norteamérica. El período del desarrollo del fruto es corto, alcanzando hasta 90 días desde la floración hasta la maduración (MUÑOZ, 1988). El fruto posee variadas alternativas de industrialización y propiedades benéficas para la salud, como es la elevada presencia de antioxidantes, alta cantidad de vitaminas (C, B-6, E), y bajo en calorías, entre otras (PARADA, 2005; GODOY *et al.*, 2008; USDA, 2011). En la actualidad, Estados Unidos es el principal productor y consumidor de arándanos, sin embargo existen otros países que lo están demandando en forma creciente, especialmente en Europa y Asia (PINO, 2007).

2.1.1 Características de suelo y clima para el cultivo del arándano. El arándano es una planta perenne, posee un sistema radical poco profundo, muy fibroso y carece de pelos radicales lo que provoca una disminución de la superficie de absorción de agua y nutrientes desde el suelo. En la parte aérea se encuentran bastones leñosos que provienen de una corona, por lo general tiene entre 15 a 18 cañas. Su hábito de crecimiento es vertical y la fruta nace de yemas formadas en la estación anterior (KIRSTEN, 2009).

Los requerimientos de horas de frío van desde 400 a 1.100 según las distintas especies de arándanos altos como *Vaccinium corymbosum* y *Vaccinium australe* y se

adapta bien a condiciones de sequía y por ser un arbusto de hoja caduca, es resistente al receso invernal. No requieren de una estación calurosa muy larga para madurar su fruta y no requieren de luminosidad para la maduración del fruto. Como características del suelo, el arándano se desarrolla mejor en suelos ácidos de pH 4,0 – 5,0 y no muy profundos, en sectores fríos y húmedos no tiene mucha importancia la profundidad del suelo (VALENZUELA, 1988; SUDZUKI, 2002).

2.1.2 Características de los suelos en el sur de Chile. Chile se caracteriza por poseer una fuerte actividad volcánica, la cual ha generado que gran parte del territorio estén cubiertas con sedimentos piroclásticos, sin embargo, los suelos producidos son bastante heterogéneos en función de su edad y condiciones ambientales (TOSSO, 1985). Alrededor del 43% de la superficie agrícola arable corresponde a suelos derivados de cenizas volcánica y se encuentran ubicados principalmente entre los paralelos 34° y 44° S. Los suelos volcánicos de Chile están constituidos principalmente por Andisoles y en menor grado por Ultisoles entre otros, los Andisoles son suelos jóvenes, de textura franca, altos en materia orgánica, de pH moderadamente ácido, con una alta carga variable y capacidad de retención de fosfatos (SADZAWKA *et al.*, 2006).

2.1.3 El cultivo del arándano en el sur de Chile. Ante la creciente demanda de nuevos cultivos que se adapten a las distintas condiciones climáticas que posee el país y la necesidad de aumentar las exportaciones con nuevas producciones que generen mayor rentabilidad, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), inició en 1979 el programa de introducción y evaluación de nuevas alternativas frutícolas (LOBOS, 1988; ESPÍNDOLA, 2003), obteniendo resultados favorables en el establecimiento y adaptación del cultivo del arándano en el país (MEDEL, 1988), la masificación de este frutal ha experimentado un considerable crecimiento debido a los buenos resultados económicos obtenidos (VIDAL *et al.*, 1999). SANCHES (2006), señala que desde la Región de la Araucanía hasta la Región de Los Lagos existen diversas variedades de arándano cultivadas, donde se encuentran variedades muy tempranas que comienzan su cosecha a finales de noviembre y variedades tardías en las cuales la cosecha termina a principios de abril. Las variedades más cultivadas en la zona sur de país son la variedad Brigitta con un 16,47% y Elliot con un 43,15%. La variedad Brigitta

pertenece al grupo de las semitempranas con cosecha desde finales de diciembre hasta finales de febrero y la variedad Elliot es de cosecha tardía que se inicia desde la segunda quincena de enero prolongándose incluso hasta comienzos de abril (SANCHEZ, 2006). Actualmente la superficie cultivada en Chile es de aproximadamente 12.000 ha, de los cuales 4.480 ha se encuentran en la zona sur del país y durante la temporada 2010 – 2011 el volumen de exportación total fue de 68.376 t, donde el 81% de lo exportado fue al mercado de Estados Unidos (CHILEAN BLUEBERRY COMMITTEE, 2011).

2.2 Nutrición del arándano

Los arándanos son nativos de áreas pantanosas, con niveles nutricionales muy bajos (MAINLAND, 1994). Dado que los arándanos se desarrollan en estas zonas con bajos contenidos de nutrientes, pueden desarrollarse con cantidades bajas de fertilización. Sin embargo, se ha demostrado que para que exista un rápido crecimiento en plantas jóvenes y altos rendimientos en plantas maduras, debe ser necesario realizar un buen programa nutricional (KREWER y SCOTT, 1999). Es importante mantener una nutrición adecuada del arándano, pues además de afectar directamente en el rendimiento, cualquier deficiencia nutricional hace más sensible el cultivo a las heladas (VALENZUELA, 1988). VALENZUELA (1988) indica que con una buena nutrición se puede establecer plantaciones en pH más elevados a los recomendados (entre 5,5 y 6,0), teniendo en consideración que puede existir un problema de deficiencia de hierro (Fe).

2.2.1 El calcio en el arándano. Los niveles de cationes Ca en el arándano son extremadamente bajos en su hábitat natural (MAINLAND, 1994), y raramente se diagnostican deficiencias nutricionales de este elemento (RETAMALES, 1988; STRIK y HART, 1997; KREWER y SCOTT, 1999). Es por esto que los niveles foliares de Ca son inferiores a los presentados en otros frutales; sin embargo, en los frutos se ha encontrado niveles superiores comparándolos con otros frutales como es el caso del manzano (*Malus domestica*). Esto indica que la eficiencia de absorción es mayor y se ve reflejado con un mayor aporte hacia los frutos. Los síntomas característicos de deficiencia de Ca incluyen una clorosis en hojas jóvenes (Figura 1), también se puede asociar problemas por falta de Ca en suelos que poseen pH muy bajo (RETAMALES y

ARREDONDO, 1995; FUQUA *et al.*, 2005) y en casos extremos de deficiencia puede ocurrir una detención en el crecimiento de los brotes (SIERRA, 2003). En cambio el exceso de Ca reduce la absorción del Fe por la raíces y pueden afectar el metabolismo del Mg y K en las plantas (FUQUA *et al.*, 2005).



FIGURA 1 Signos de deficiencia de calcio en arándanos.

FUENTE: ESPECTRUM ANALYTIC (2006).

KREWER y SCOTT (1999), señalan que si existe una alta disponibilidad de Ca en el suelo, va a aumentar el contenido de Ca en la planta, lo que puede crear problemas de deficiencia de Fe, además niveles altos de Ca en el suelo pueden crear una deficiencia de Mg. Sin embargo, el problema puede deberse más a un problema de pH que a un aumento de los niveles de Ca disponible, ya que pH menos ácidos usualmente se asocian a mayores niveles de Ca intercambiable en los suelos.

2.2.2 El magnesio en el arándano. El Mg es uno de los constituyentes de la clorofila, desempeñando por ello un papel primordial en la vida vegetal, pero a su vez cumple otras funciones en la planta, destacándose entre ellas: la absorción del fósforo (P), formación de los lípidos, formación de xantofila y carotenos y mantenimiento de la

turgencia en las células (TROCME y GRAS, 1979) y es un nutriente medianamente móvil dentro de la planta (SIERRA, 2003). En el arándano los niveles de Mg son extremadamente bajos en condiciones naturales (MAINLAND, 1994). Aunque se observan deficiencia ocasionalmente en los Estados Unidos (KREWER y SCOTT, 1999).

Los síntomas de deficiencia comienzan con una clorosis de las hojas viejas en la que las nervaduras permanecen de un color verde oscuro (Figura 2), luego se tornan de un color rojo a marrón, caen de forma prematura cuando la deficiencia es mayor (KREWER y SCOTT, 1999; FUQUA *et al.*, 2005).

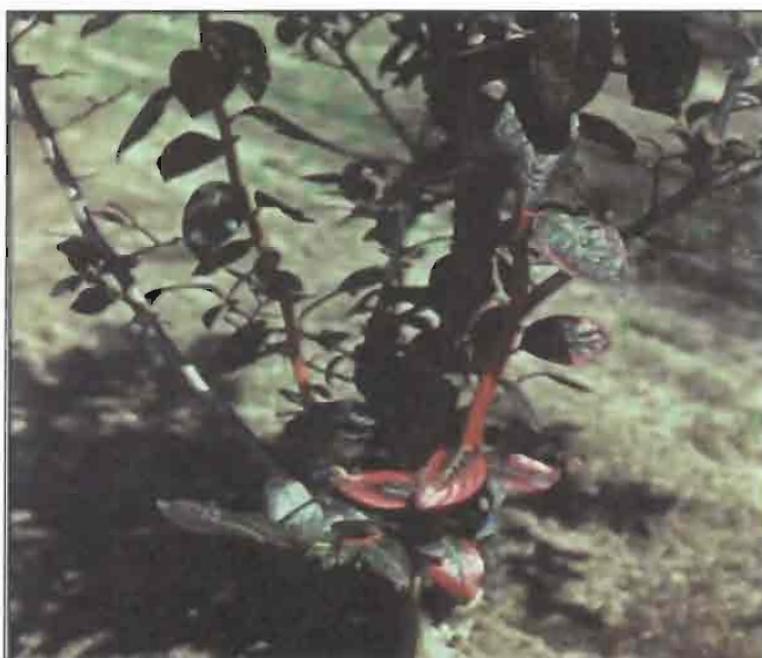


FIGURA 2 Signos de deficiencia de magnesio en arándanos.

FUENTE: ESPECTRUM ANALYTIC (2006).

La existencia de una concentración excesiva de Mg en el tejido foliar se relaciona con pH altos en el suelo (STRIK y HART, 1997; HART *et al.*, 2006). RETAMALES (1988) señala que las reservas de Mg en el suelo está relacionada con la capacidad de intercambio catiónico y que es por eso que la deficiencia de Mg es común en suelos con un bajo contenido de materia orgánica, también indica que se puede dar una

menor disponibilidad de Mg debido a excesivas aplicaciones de K. En la zona sur de Chile existe una menor cantidad de Mg producto a la baja capacidad de intercambio catiónico que poseen los suelos, por lo que se hace necesaria su aplicación en suelos ácidos y en lugares donde existe alta pluviometría, para mantener los niveles óptimos para la producción (SILVA y RODRIGUEZ, 1995).

2.2.3 El azufre en el arándano. El S en las plantas posee numerosas funciones, muchas de las cuales se encuentran relacionada con las transformaciones catalizadas por enzimas, también forma parte de los aminoácidos esenciales cisteína, cistina y metionina (SADZAWKA, 1999). El S es un elemento medianamente móvil en la planta y su deficiencia (Figura 3) se puede confundir con la del nitrógeno (N) ya que en las plantas se visualiza un retraso del crecimiento. Las hojas jóvenes presentan una clorosis muy localizada entre las nervaduras y se tornan de un color amarillo-verdoso (SADZAWKA, 1999; SIERRA, 2003; FUQUA *et al.*, 2005).



FIGURA 3 Signos de deficiencia de azufre en arándanos.

FUENTE: ESPECTRUM ANALYTIC (2006).

El S a pesar de ser un elemento esencial en la planta generalmente es aplicado para reducir el pH del suelo que para corregir las deficiencias nutricionales (STRIK y HART, 1997). SADZAWKA (1999) indica que aunque el S posee poca importancia en términos de fertilidad de suelo, por no existir niveles críticos en la gran mayoría de los suelos del país, pero que se debe tener presente que los niveles de este elemento han ido en

disminución por el aumento de fertilizantes libres de S y la reducción de uso de S como pesticida.

2.2.4 Demanda de macronutrientes secundarios. La demanda de un cultivo corresponde a la cantidad de nutriente que se requiere para obtener para alcanzar un determinado rendimiento (RODRÍGUEZ *et al.*, 2001). La demanda del arándano para las condiciones del sur de Chile son desconocidas, ya que en el país no se han generado estos estándares, por lo cual se ha llegado a la utilización de estándares realizados en el extranjero, que han sido generadas en condiciones de suelo y clima diferentes (HIRZEL y RODRÍGUEZ, 2003). Existen estimaciones de demandas nutricionales para arándano ojo de conejo (*Vaccinium ashei* R.), publicadas por VIDAL *et al.*, (1999), donde señala que el Ca presenta una alta extracción por parte de la planta, de 2,70 a 2,92 kg nutriente ton^{-1} fruta fresca; en cambio el Mg, presenta una extracción menor, entre 0,55 – 0,92 kg nutriente t^{-1} fruta fresca, ambos valores son los normales, pero inferiores si se comparan con otras especies frutales. VIDAL (2007) señala que en arándano alto la extracción de Ca es menor que la señalada anteriormente, indicando demandas de 1,4 kg nutriente ton^{-1} fruta, y en Mg la extracción es de 0,8 kg nutriente ton^{-1} fruta, siendo similar a lo señalado para arándano ojo de conejo. No obstante, indica que las tasas de absorción son específicas para cada variedad y clima. En la literatura revisada no se encontraron datos para la extracción de S del arándano alto.

2.3 Diagnóstico nutricional

El crecimiento y desarrollo anual de un frutal en etapa productiva manifiesta variaciones que responden al manejo de la especie y a la interacción con los factores edáficos y climáticos. Estas variaciones pueden inducir a cambios estacionales reversibles en la concentración interna de los diferentes nutrientes esenciales, lo cual finalmente puede afectar el rendimiento y/o calidad de la fruta cosechada (HIRZEL y RODRÍGUEZ, 2001). El análisis de suelo y las muestras de tejido son útiles para desarrollar un diagnóstico nutricional para determinar la aplicación de fertilizantes, lo cual nos ayuda a eliminar las limitaciones de rendimiento y calidad (STRIK y HART, 1997).

La concentración de los nutrientes en el tejido puede tener diferentes rangos o niveles (Figura 4). El rango de insuficiencia indica que la concentración de los nutrientes no es suficiente para obtener el óptimo del rendimiento del cultivo, lo que hace que el nutriente se transforme en un factor limitante del crecimiento. Por lo tanto, cualquier incremento de concentración del nutriente se traduce en un efecto positivo en la planta. El rango adecuado corresponde a cuando el nutriente no representa una limitante en la producción de la planta. El rango excesivo se refiere a aquellos niveles donde el nutriente afecta negativamente el crecimiento de la planta (HAVLIN *et al.*, 1999; HIRZEL, 2008).

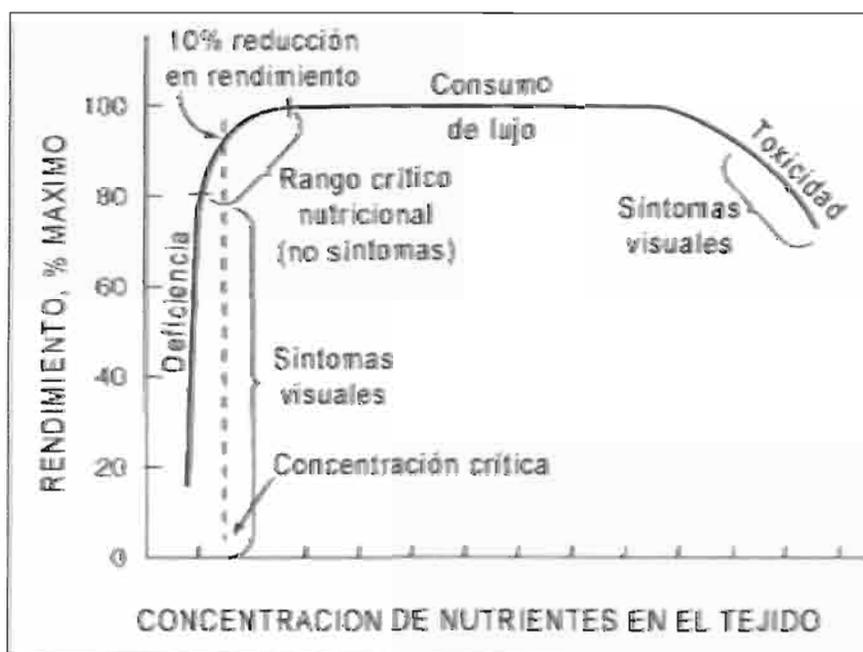


FIGURA 4 Relación entre la concentración de nutrientes en el tejido y el rendimiento relativo.

FUENTE: HAVLIN *et al.*, (1999).

Para la elaboración de un diagnóstico nutricional, es necesario analizar la relación existente entre el contenido de nutriente en el suelo y en la planta con respecto a su producción (SILVA y RODRIGUEZ, 1995) y de esta manera relacionar la concentración de nutrientes en el tejido foliar y la productividad. Es por esto la necesidad de evaluar el rendimiento con parámetros de disponibilidad nutricional en el suelo y concentración

foliar, para poder analizar la respuesta de la planta en distintos niveles nutricionales y de esta manera, observar la curva de producción antes mencionada para obtener el óptimo de producción.

2.3.1 Análisis de suelo. Los análisis de suelo indican en que magnitud se encuentran disponibles los nutrientes en un determinado sitio, y son buenos para determinar distintas características químicas como pH, materia orgánica entre otras. KIRSTEN (2009) recomienda para las plantaciones frutales realizar análisis de suelo previo a la plantación y cada cinco años para monitorear el nivel de pH y de los nutrientes y es recomendable para el arándano realizar el análisis hasta un año antes de implementar la plantación. Un análisis de suelo es la única manera de determinar con precisión la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, por lo tanto, las muestras deben ser representativas del sitio de plantación y debe obtener submuestras de toda la zona analizada.

2.3.2 Análisis de tejidos. El análisis del tejido foliar proporciona información útil sobre el estado nutricional de las plantas y en base a esto se puede obtener una aproximación de la cantidad de fertilizante que se necesita para la próxima temporada del cultivo (YANG, 2002). Además es una herramienta que permite evaluar la fertilización empleada y de esta manera tomar decisiones sobre las posibles modificaciones a realizar en la temporada siguiente. En cada especie existe un momento adecuado de muestreo de hojas y normalmente se realiza cuando se presenta la mayor estabilidad de los nutrientes donde se encuentra un poca variación de estos en un tiempo determinado, esto es para realizar un comparación estándar de las muestras y disminuir el error cuando se adelanta o retrasa el período de muestreo señalado como adecuado (YANG, 2002).

STRIK y HART (1997) señalan que cuando se encuentra establecido el cultivo, el análisis foliar, tomado en fechas correspondientes, es más útil que el análisis de suelo y que se debe realizar un muestreo anual, en cambio se puede realizar un análisis de suelo cada tres o cuatro años para evaluar la fertilización. Para el análisis foliar se deben tomar cinco hojas de cada planta, con un mínimo de diez plantas seleccionadas al azar dentro del cuartel.

Por esta razón, el tejido foliar es un buen indicador del estado nutricional estacional de los frutales, siempre que el resultado de su análisis químico sea comparado con estándares originados en zonas edafoclimáticas equivalentes, para muestras colectadas en fechas relativamente similares, a su vez, la fecha de colección de la muestra foliar está relacionada a una variable fisiológica de la planta, que dice relación con el momento fenológico en que el tejido foliar manifiesta cierta estabilidad en los contenidos nutricionales (HIRZEL y RODRÍGUEZ, 2001; YANG, 2002).

La variación de las concentraciones foliares en el arándano para Ca, Mg y S (Figura 5), fueron medidas desde cuajado del fruto (mayo) hasta el final de la cosecha (agosto) en el hemisferio norte. En general, las concentraciones de S disminuyen desde mayo hasta agosto, mientras que el Ca y Mg tienden a aumentar ligeramente (HIRZEL *et al.*, 2001; YANG, 2002).

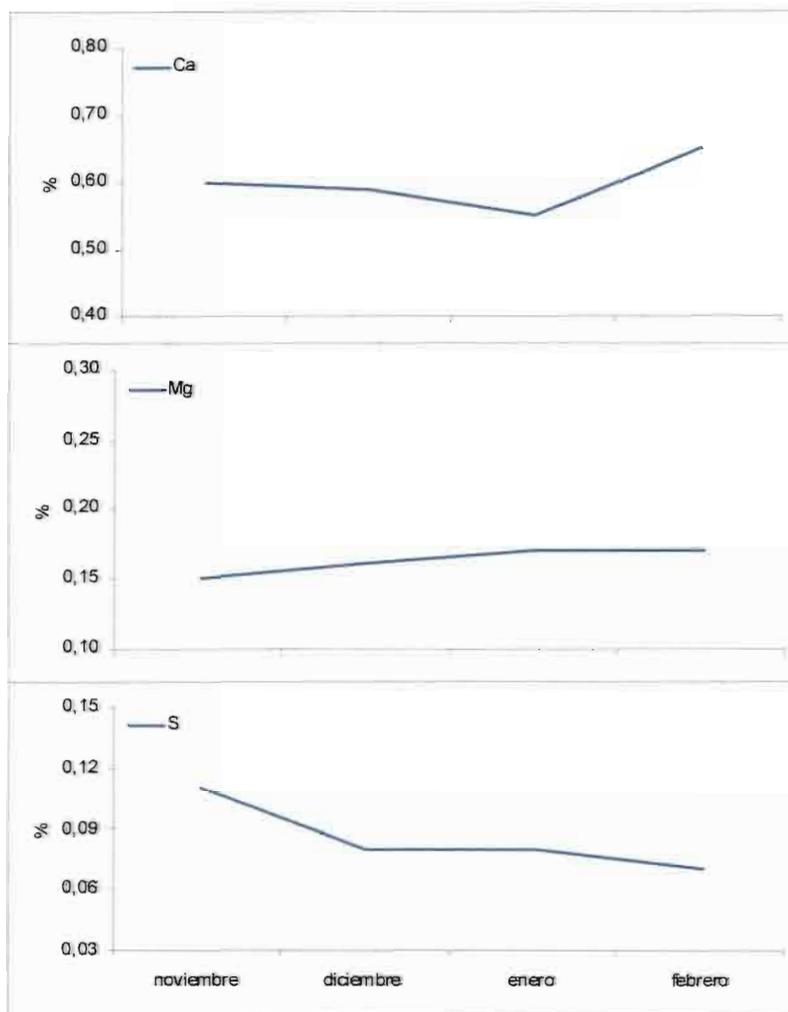


FIGURA 5 Cambios en la concentración (%) de los macronutrientes secundarios a nivel foliar medidos desde cuaja de fruto (mayo), hasta el final de la cosecha (agosto) para el hemisferio norte.

FUENTE: adaptado de YANG (2002).

YANG (2002) señala que los niveles de nutrientes en el tejido varían de acuerdo a la fenología de la planta y pueden variar según la fecha del cultivo y por lo tanto según el lugar donde se encuentren, teniendo en cuenta que se debe buscar distintos análisis según la zona para nos den una adecuada estrategia de fertilización. SAN MARTIN (2003) señala que a partir del segundo o tercer año el análisis foliar es el más adecuado y confiable para determinar la situación nutricional de las plantas, y en el caso del arándano, se recomienda en las plantaciones que los análisis foliares se

realicen a fines de enero y mediados de febrero para el hemisferio sur, terminada la cosecha (OPAZO, 2006).

Por lo tanto la concentración nutricional en un tejido específico, usualmente hojas en el arándano, es una buena herramienta utilizada para el control de la fertilización, pues permite diagnosticar y evaluar un plan de fertilización para cualquier nutriente, pero para ello es necesario determinar la mejor época en que el contenido nutricional esté relacionado con el rendimiento y/o calidad de la fruta o asociado a los niveles de nutriente en el suelo (YANG, 2002).

3 MATERIAL Y METODOS

3.1 Material

3.1.1 Ubicación de los ensayos. El estudio se realizó en cinco huertos de arándanos de la zona sur de Chile, distribuidos entre la Región de Los Ríos y la Región de Los Lagos. En la Región de Los Ríos se establecieron los ensayos en cuatro huertos, ubicados en el sector de Pelchuquín, Mariquina, La Unión, Rapaco y un huerto en la Región de Los Lagos en la comuna de Purranque, las características de suelo y agroclima se pueden observar en el Cuadro 1.

CUADRO 1 Características de las series de suelo y agroclima correspondiente a cada sector donde se ubicaron los ensayos.

Región	Sector	Serie	Tipo de suelo	Clasificación	Agroclima
Los Ríos	Pelchuquín	Pelchuquín	Andisol	Eutric Fulvudands	Mariquina
	Mariquina	Pelchuquín	Andisol	Eutric Fulvudands	Mariquina
	Rapaco	La Unión	Inceptisol	Andic Dystrudepts	La Unión
	La Unión	Río Bueno	Andisol	Typic Durudands	La Unión
Los Lagos	Purranque	Osorno	Andisol	Typic Hapludands	Purranque

FUENTE: Elaborado a partir de datos publicados por RODRÍGUEZ (1989); NOVOA y VILLASECA (1989); CIREN (2003).

3.1.1.1 Características edáficas de los sitios de ensayo. Estos huertos se encuentran en tres diferentes series de suelo: los huertos ubicados en el sector de Pelchuquín y Mariquina pertenecen a la serie de suelo Pelchuquín, los huertos que se encuentran en el sector de La Unión pertenece a la serie Río Bueno y La Unión, y

finalmente un huerto en el sector de Purranque, perteneciente a la serie de suelo Osorno.

Según el estudio agrológico del CIREN (2003), la serie Pelchuquín corresponde a un Andisol (Eutric Fulvudand), es un suelo profundo, de textura franco limosa, tiene una densidad aparente (Da) de $0,70 \text{ g cm}^{-3}$ y su topografía es casi plana con 1 a 3% de pendiente con buen drenaje. La serie Río Bueno es un suelo denominado Andisol (Typic Durudands) que se caracteriza por ser un suelo moderadamente profundo, de textura franco arcillo limosa, con una Da de $0,60 \text{ g cm}^{-3}$ y posee una topografía suavemente ondulada con 1 a 3% de pendiente. La serie La Unión se encuentra clasificado en el grupo de los Inceptisoles (Andic Dystrudepts) que se caracteriza por ser un suelo profundo con una altura de 60 a 90 msnm y corresponden a cenizas volcánicas muy antiguas depositadas sobre conglomerados o sobre toba volcánica, su textura es franco arcillo limosa, con una Da de $0,92 \text{ g cm}^{-3}$ y se encuentra en una topografía suavemente ondulada con 5 a 8% de pendiente. La serie Osorno se ubica en la Región de Los Lagos y se encuentra clasificado como un Andisol (Typic Hapludand), de textura franco limosa y con una Da de $0,66 \text{ g cm}^{-3}$, presenta una topografía de ligera a moderadamente ondulada. Los valores de textura y Da de los distintos tipos de suelo se observan en el Cuadro 2.

CUADRO 2 Características de textura y Densidad aparente (Da) de las diferentes series de suelo de los sectores donde se establecieron los diferentes ensayos.

Características	Serie de suelo			
	Pelchuquín	La Unión	Río Bueno	Osorno
Arena (%)	20,8	17,8	17,5	44,5
Limo (%)	68,8	51,5	46,7	31,6
Arcilla (%)	10,4	30,7	35,8	23,9
Textura	Franco limoso	Franco arcillo limoso		Franco
Da (g cm^{-3})	0,70	0,92	0,60	0,66

FUENTE: Elaborado a partir de datos publicados por CIREN (2003).

Todos estos suelos se caracterizan por ser trumaos, que provienen de materiales piroclásticos (arenas, cenizas, pómez) con elevado contenido de vidrios, su génesis está ligada a la alteración de los vidrios volcánicos, y a la síntesis de alofán e imogolita (TOSSO, 1985).

3.1.1.2 Características climáticas de los sitios de ensayo. Los agroclimas existentes en las zonas donde se establecieron los ensayos fueron tres: Mariquina, La Unión y Purranque (Cuadro 3). Los huertos que se encuentran en el sector de la La Unión y Rapaco se encuentran dentro del agroclima La Unión que se caracteriza por poseer un clima denominado mediterráneo frío que presenta lluvias en la estación fría y sequías en las estaciones cálidas además posee un invierno riguroso con muchas heladas pero con estaciones libre de heladas de 2,5 a 4,5 meses y con cuatro meses cálidos con temperaturas sobre los 17 °C. Los huertos ubicados en el sector de Pelchuquín, San José de la Mariquina y Purranque poseen un clima marino fresco que se caracterizan por presentar veranos frescos e inviernos suaves y poseen un régimen hídrico húmedo (NOVOA y VILLASECA, 1989).

CUADRO 3 Principales características agroclimáticas de los distintos sectores donde se encontraban los huertos.

Características climáticas	Agroclimas		
	Mariquina	La Unión	Purranque
Tma (°C)	11,9	11,6	10,9
T° max media (°C)	17,0	23,7	21,4
T° min media (°C)	6,8	s.i.	3,0
Pp (mm)	2.250	1.267	1.542

s.i.: sin información; Tma: Temperatura media anual; Pp: Precipitaciones.

FUENTE: Elaboración en base a datos publicados por RODRÍGUEZ (1989); NOVOA y VILLASECA (1989); LAROZE (2010).

3.1.1.3 Características químicas de los sitios de ensayo. Las características químicas de los cuarteles donde se establecieron los ensayos, fueron medidas mediante análisis de suelo a muestras recolectadas a 20 cm de profundidad por medio de un barreno. Estos análisis se realizaron al comienzo y al final de la temporada de evaluación. Algunos de los datos obtenidos en el análisis se muestran en el Cuadro 4, destacando los valores nutricionales de Ca, Mg y S en cada cuartel.

Cuadro 4 Características químicas de los diferentes cuarteles donde se establecieron los ensayos.

Estudio	Cuartel	Variedad	Año*	pH agua	MO %	SB	Ca inter.	Mg inter.	S mg kg ⁻¹
							cmol, kg ⁻¹		
Ca	1	Brigitta	2004	5,32	5,00	11,62	4,79	3,78	23,4
	2	Brigitta	2004	5,00	10,9	6,57	4,01	1,52	33,2
	3	Brigitta	2005	4,67	13,6	1,55	0,66	0,71	20,8
	4	Elliot	1991	5,14	16,8	4,99	3,69	0,83	34,7
	5	Elliot	2002	4,73	12,8	8,95	4,74	1,60	30,5
	6	Elliot	2004	5,18	7,30	7,45	3,49	2,33	27,3
	7	Elliot	2005	4,76	18,3	2,90	0,71	1,98	30,1
Mg	1	Brigitta	2002	5,21	12,9	5,16	4,12	0,72	92,5
	2	Brigitta	2004	5,31	5,90	9,69	5,19	1,67	18,6
	3	Elliot	2004	5,68	17,7	5,03	4,04	0,73	43,2
	4	Elliot	1991	5,03	19,1	5,50	4,14	0,94	31,2
	5	Elliot	2002	5,24	16,8	7,95	6,10	1,44	27,0
	6	Elliot	2004	5,31	8,10	8,85	6,05	1,40	22,1
	7	Elliot	2005	4,60	16,8	1,57	1,16	0,20	23,9
S	1	Brigitta	2002	5,17	14,3	5,61	4,61	0,71	96,0
	2	Brigitta	2004	5,02	11,1	7,41	4,83	1,34	36,9
	3	Brigitta	2006	5,03	9,30	8,77	6,58	1,49	15,5
	4	Elliot	2002	5,83	13,5	7,27	5,94	1,03	83,5
	5	Elliot	2002	4,63	18,7	3,89	2,90	0,62	24,2
	6	Elliot	2004	5,64	14,5	6,92	5,50	1,07	50,4
	7	Elliot	2004	5,22	8,30	7,89	5,01	1,40	20,3

* Año de plantación; MO: Materia orgánica; SB: Suma de bases.

3.1.2 Variedades utilizadas. Se utilizaron dos variedades de arándanos para el estudio: Brigitta y Elliot de cosecha semitardía y tardía respectivamente; ambos cultivares son de una alta importancia en la zona sur de Chile ocupando entre ambas aproximadamente el 60% de las variedades cultivadas (SANCHEZ, 2006). Las plantas se dividieron en dos grupos: las con rendimientos creciente, que son plantas que poseían entre cuatro y siete años de plantación (2003 – 2006), y plantas en plena producción las cuales poseen sobre siete años de plantación (1991 – 2002). El periodo de cosecha de la variedad Brigitta comenzó desde la primera semana de enero hasta finales de febrero y la variedad Elliot comenzó su cosecha la segunda semana de enero, hasta la primera semana de abril.

3.1.3 Duración de los ensayos. El ensayo se realizó entre septiembre del año 2009 y abril del año 2010. Durante septiembre del año 2009 se procedió a realizar el análisis inicial de suelo para luego establecer las dosis de fertilización de los distintos cuarteles con el objetivo de corregir los niveles nutricionales, la fertilización se realizó entre octubre y noviembre del mismo año. Los muestreos foliares se midieron desde diciembre de 2009 hasta abril de 2010 y la cosecha comenzó durante la primera semana de enero del año 2010 hasta mediados de marzo del mismo año.

3.2 Métodos

3.2.1 Diseño experimental. Se determinó una unidad experimental (UE) para los distintos nutrientes a evaluar. Cada elemento a estudiar disponía de siete UE con niveles de disponibilidad en el suelo diferentes, intentando abarcar niveles bajos, medios y altos, para poder evaluar el rendimiento en los tratamientos con y sin fertilización de Ca, Mg y S y realizar la calibración de la curva de nivel crítico en el suelo y el rendimiento relativo. Cada UE constaba con dos tratamientos y tres repeticiones por cada tratamiento (Figura 6), donde existe un primer tratamiento (T1) que corresponde al tratamiento testigo, con los niveles nutricionales actuales de Ca, Mg y S que posee el cuartel (Cuadro 4) y el segundo tratamiento (T2) con una corrección del nivel nutricional basados en recomendaciones realizadas para otros frutales, alcanzando niveles de $2,5 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ de Ca, $1 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ de Mg y 25 mg kg^{-1} para el S. Los otros elementos fueron corregidos en ambos tratamientos (T1 y T2) para

dejar como única limitante el nutriente a estudiar. Los niveles de las correcciones fueron los siguientes: 30 mg kg⁻¹ de P-Olsen, 200 mg kg⁻¹ de K intercambiable, 0,1 cmol_c kg⁻¹ Al intercambiable, 0,5 mg kg⁻¹ de Cu extractable, 1,0 mg kg⁻¹ de Mn extractable, 2,5 mg kg⁻¹ de Fe extractable.

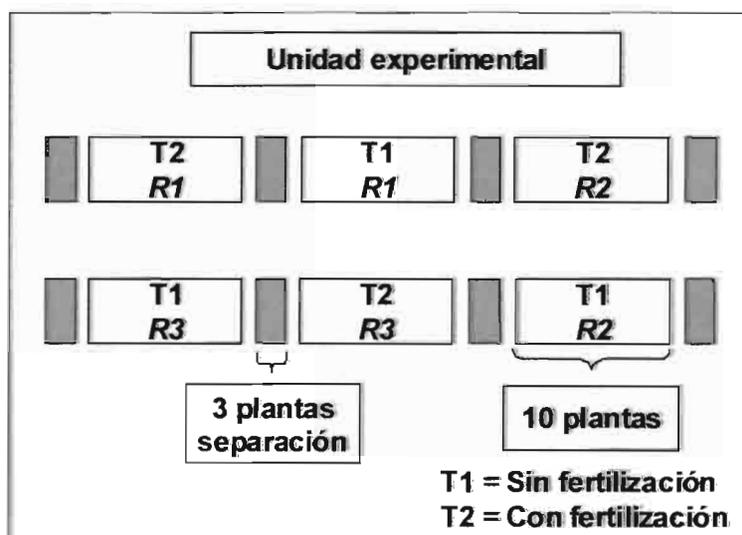


FIGURA 6 Ejemplo de la unidad experimental utilizada en el estudio.

Para el ensayo se dispuso de siete UE por elemento, cada EU poseía dos tratamientos, con tres repeticiones por cada tratamiento y diez plantas por cada repetición, dejando tres plantas de separación entre estas, lo que sumaba un total de sesenta plantas por tratamiento en los diferentes huertos. La distribución geográfica de los ensayos por huerto se muestra en el Cuadro 5.

CUADRO 5 Distribución de los ensayos en los diferentes huertos.

Nutriente	Sectores y número de ensayos					Total
	Pelchuquín	San José	La Unión	Rapaco	Río Negro	
Ca	2	---	1	2	2	7
Mg	1	2	2	2	---	7
S	---	3	1	2	1	7

Para establecer los tratamientos se buscaron diferentes hileras de plantación, las que se seleccionaron según la cantidad de plantas homogéneas, buscando sectores que faciliten la aislación del sistema de fertirriego utilizado en el huerto lo cual se realizó por medio de instalación de válvulas de corte para el sistema de riego. Esto es para aislar las plantas del ensayo de las demás del huerto para evitar que se fertilicen vía fertirrigación, para evitar dosis que no han sido programadas en la planificación inicial (Figura 7).



FIGURA 7 Detalle de las válvulas de corte instaladas en las líneas de fertirriego de los diferentes cuarteles.

3.2.2 Muestreos de suelo. Se realizaron dos muestreos de suelo durante la temporada del ensayo: el primero se realizó antes del establecimiento de las UE, para evaluar los diferentes huertos y las concentraciones iniciales, y el segundo muestreo se realizó al final de la temporada, en el cual se tomaron muestras de suelo de 0 – 20 cm de profundidad, en todas las UE para ambos tratamientos. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile (UACH), para la determinación de los nutrientes disponibles.

3.2.3 Muestreos foliares. Para la realización de los análisis foliares se recolectaron de las plantas del tratamiento testigo (T1) un total de diez hojas por planta, totalizando

cien hojas por repetición, estas hojas se encontraban en el tercio medio de las ramillas que provengan de brotes axilares de la planta (Figura 8). En muestreo se realizó cada 21 días en los estados fenológicos de frutos verdes, madurez, hasta la detención del crecimiento vegetativo completando seis muestreos por temporada.



FIGURA 8 Toma de muestras foliares del tercio medio de las ramillas del año.

3.2.4 Medición del rendimiento. Para medir el rendimiento total de las plantas por UE se registró el peso de la fruta cosechada de ambos tratamiento. La cosecha se realizó de acuerdo a los criterios de cada huerto, contemplando de cuatro a cinco cosechas por cuartel, en los cuales se registraba el peso total de cada repetición, estos datos obtenidos se clasificaron de dos formas: los frutos exportables que corresponde a la fruta cosechada que cumple con las características visuales para la exportación y las demás frutas se clasificarán como desecho, en esta categoría entran las que muestren alguna característica visual como: partiduras, color heterogéneo, picaduras de insectos, deshidratación, hongos.

3.2.5 Análisis del rendimiento relativo. Para este análisis se utilizaron los rendimientos obtenidos por cada UE en ambos tratamientos (T1: sin fertilización y T2: con fertilización), para realizar una división entre el promedio de los rendimientos obtenidos. La fórmula utilizada fue la siguiente: $\text{Rendimiento relativo} = \frac{\text{rendimiento T1}}{\text{rendimiento T2}}$. De esta manera con los siete niveles diferentes de cada elemento se

puede graficar la curva de concentración foliar ó disponibilidad en el suelo sobre el rendimiento relativo obtenido, para encontrar el nivel crítico en cada elemento.

3.2.6 Determinación de los niveles foliares de calcio, magnesio y azufre. Las muestras fueron analizadas según el método para análisis de cultivos vegetales propuesto por SADZAWKA *et al.*, (2007), para la determinación de la concentración nutricional del elemento en la planta. Para Ca y Mg se realizó el análisis con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA) con llama de aire – acetileno por aspiración directa y el S se midió por Turbidimetría del Sulfato de Bario.

3.2.7 Determinación de calcio, magnesio y azufre disponibles. La determinación de Ca y Mg disponibles se realizó mediante la extracción con solución de acetato de amonio 1 M a pH 7,0 y medidos por EAA, con lantano. La medición de S disponible fue mediante la extracción con solución de dihidrógeno fosfato de Ca 0,01 M por determinación turbidimétrica, descritas por SADZAWKA *et al.*, (2006).

3.2.8 Análisis estadístico. Para determinar la existencia de diferencias entre los rendimientos de los tratamientos con y sin fertilización (T1 y T2) se realizó un análisis de varianza (ANDEVA). Para poder observar si las medias de los tratamientos poseían diferencias significativas se realizó un prueba de Tukey ($p < 0,05$).

4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Niveles de calcio, magnesio y azufre en los suelos estudiados. Para estudiar la variación en el rendimiento en el cultivo del arándano con diferentes niveles en el suelo de Ca, Mg y S, se seleccionaron huertos o cuarteles que presentaran una variación desde niveles muy bajos hasta suficientes, e incluso, niveles excesivos donde fuera posible. En la Figura 9 se representa gráficamente los niveles nutricionales correspondientes a cada elemento estudiado.

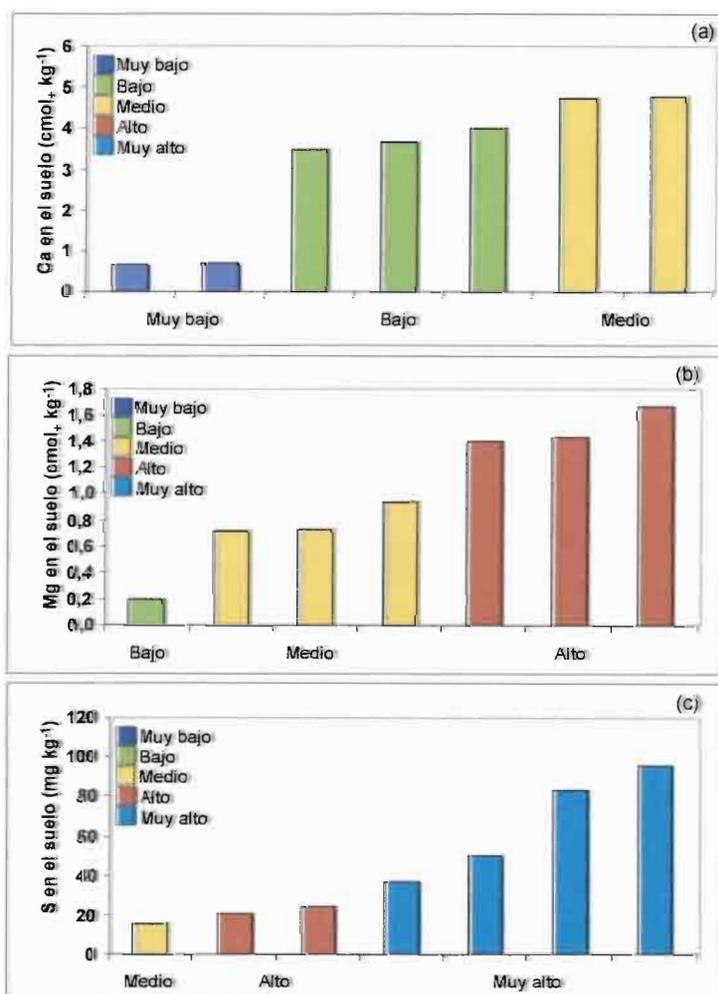


FIGURA 9 Niveles de suelo para calcio (a), magnesio (b) y azufre (c), en los cuarteles seleccionados para la evaluación de rendimiento.

SILVA y RODRIGUEZ (1995), señalan que valores inferiores a $4 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ de Ca en los suelos corresponden a un nivel de disponibilidad deficiente, donde se considera en el suelo un nivel de disponibilidad muy bajo o deficitario de Ca con valores inferiores a los $2 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$, el nivel medio de disponibilidad se encuentra entre $4,1$ y $8 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ y sobre los $8 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ correspondería a un nivel alto de disponibilidad de Ca.

Para el presente estudio, niveles de disponibilidad de Ca altos y muy altos no se encontraron en los distintos huertos o cuarteles disponibles. Esto se puede deber a la baja aplicación de Ca en el suelo y a condiciones comunes de los suelos volcánicos. Además, hay que considerar que el arándano se desarrolla de mejor manera en suelos ácidos por lo que se evita la aplicación carbonato de Ca (CaCO_3), que es la fuente de Ca más utilizada. En cambio, el Laboratorio de Suelos del INIA (2011), considera un nivel bajo de Ca desde los $5 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$, lo que según ese criterio todos los ensayos estarían realizados en suelos con deficiencia de este elemento. Sin embargo, es común que no existan reportes de deficiencia de Ca en los suelos (HAVLIN *et al.*, 1999), ya que usualmente se manifiesta primero la toxicidad debida a la acidez, generalmente asociada a niveles altos de Al^{+3} .

Para el caso del Mg, SILVA y RODRIGUEZ (1995) señalan que bajo los $0,2 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ se encuentra en un nivel muy bajo, considerando un nivel normal entre $0,5$ y $0,8 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ y un alto contenido de Mg en el suelo, si los valores son iguales o mayores a los $0,8 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$. De acuerdo con este criterio de evaluación se tienen ensayos en tres tipos de niveles de Mg, que corresponden a uno en condiciones muy bajas, tres en condiciones medias y tres en condiciones altas. El Laboratorio de Suelos del INIA (2011), señala que suelo que contengan niveles inferiores a $0,25 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ poseen un nivel muy bajo de Mg y el rango normal o medio estaría entre $0,51$ a $1,0 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ por lo que la mayoría de los ensayos se encontrarían en un nivel adecuado de este elemento, pues solo en un ensayo presentó un nivel deficiente.

El contenido de S de los ensayos establecidos abarcan un amplio rango valores que van desde $15,5 \text{ mg kg}^{-1}$ hasta $96,0 \text{ mg kg}^{-1}$. Según SILVA y RODRIGUEZ (1995), el S disponible en el suelo posee un rango medio entre 9 a 12 mg kg^{-1} , siendo excesivo sobre 12 mg kg^{-1} y limitante bajo los 8 mg kg^{-1} . En base a este criterio todos los cuartes

evaluados se encontraron con un nivel alto de S, ya que superan los 12 mg kg^{-1} , por lo tanto, no se evaluaron cuarteles donde existiera una deficiencia de S para las plantas. Por su parte, el Laboratorio de Suelos del INIA (2011), indica que el rango normal o medio de S en el suelo corresponde los valores entre $10,1$ y $16,0 \text{ mg kg}^{-1}$, considerando un valor alto entre $16,1$ a $25,0 \text{ mg kg}^{-1}$ y muy altos en suelos con sobre los $25,0 \text{ mg kg}^{-1}$. En base a esta evaluación, los ensayos se encuentran entre los niveles medios, altos y muy altos de S. No se presentaron suelos que contengan niveles bajos o muy bajos de S ($<10 \text{ mg kg}^{-1}$), esto se puede deber que en algunos huertos se ha utilizado S elemental como elemento acidificante para reducir el pH de los suelos y de esta manera brindar las condiciones óptimas de acides (HIRZEL y RODRIGUEZ, 2003; DRUMMOND *et al.*, 2009).

4.1.1 Evaluación de los niveles de calcio en el suelo en el rendimiento del arándano. En la Figura 10 se observa diferentes niveles de Ca en el suelo (antes definido como niveles muy bajo, bajo y medio) en relación con el rendimiento relativo del arándano. En este análisis se percibe que no existe un aumento o disminución en el rendimiento medido en términos relativos. Los valores del rendimiento se mantuvieron cercanos a $1,0 \pm 0,2$ en los diferentes niveles de Ca. Esto indica que no se produjo un incremento en el rendimiento, aún corrigiendo los niveles de Ca en los suelos que se encontraban con bajo nivel de este elemento. Esto se hace evidente en los niveles muy bajos de Ca ($<2 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$), donde no se registraron bajas en las cosechas, ya que se obtuvieron rendimientos promedios de $2,66 \pm 1,06 \text{ kg pl}^{-1}$ en plantas de cinco años, lo que es considerado un nivel normal según ESPECTRUM ANALYTIC (2006).

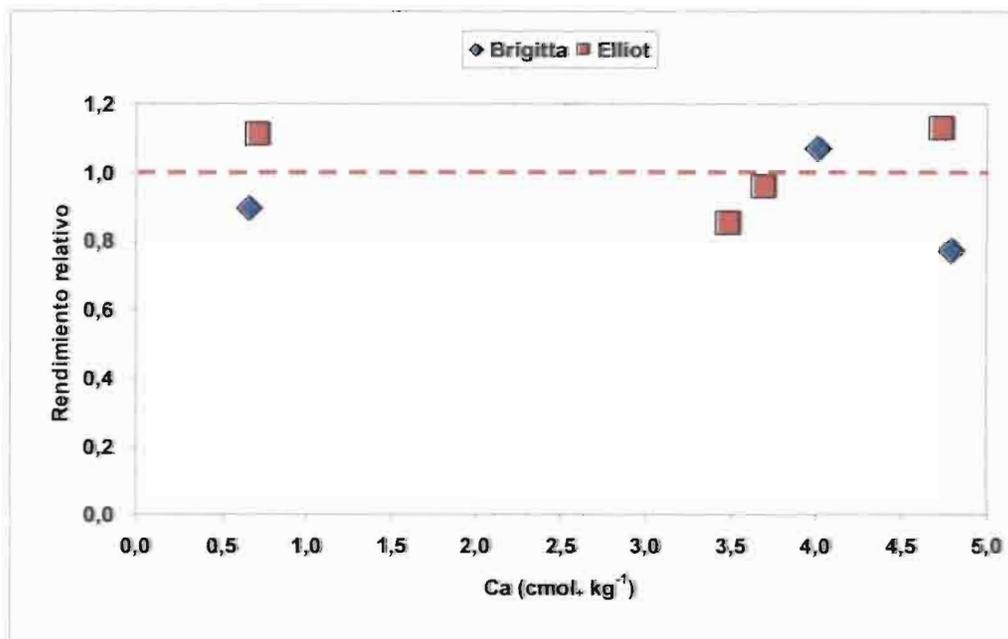


FIGURA 10 Análisis del rendimiento relativo del arándano en relación a distintos niveles de calcio en el suelo.

La escasa respuesta en el rendimiento del arándano en los distintos niveles de Ca se puede deber a que las plantas del género *Vaccinium* poseen características calcifugas o acidófilas, es decir, que son plantas que se encuentran adaptadas a suelos ácidos que contengan bajo contenido de Ca (KORCAK, 1988). Además, esto se ve reflejado en que el arándano posee un bajo contenido de Ca en los tejidos foliares, en comparación con otros frutales, como por ejemplo el manzano (*Malus domestica*) (RETAMALES y ARREDONDO, 1997; HART *et al.*, 2006).

Se debe considerar que la evaluación incluye solamente el rendimiento y que no se evaluó la calidad del fruto en cosecha o post cosecha. Este análisis puede ser incluido en un próximo estudio, ya que conocemos la importancia que posee el Ca asociado a la calidad del fruto, en forma particular a la firmeza, ya que STÜCKRATH *et al.*, (2008) demostró que existe una relación entre diferentes aplicaciones de Ca foliar con la cantidad de pectina medida en el fruto, en arándanos cultivados bajo túneles, pero no se observó un aumento en las plantas cultivadas en ambientes sin protección. En este ámbito ANGELETTI *et al.*, (2010) aplicó sulfato de Ca (CaSO₄) en precosecha logrando

retrazar el ablandamiento y la pérdida de peso del fruto durante el almacenamiento. En cambio, HANSON y BERKHEIMER (2004), aplicaron por un período de cinco años constantes dosis de Ca en el suelo, en forma de sulfato de Ca (CaSO_4) y carbonato de Ca (CaCO_3), mostrando que con diferentes niveles de Ca en el suelo, los niveles foliares resultaron similares en los tratamientos, solo encontrando diferencias significativas entre el control y el suelo encalado, también se midió la concentración de Ca en el fruto, señalando que en todos los tratamientos el contenido de Ca fue el mismo no presentando diferencias en la calidad del fruto, confirmando que distintos niveles de disponibilidad de Ca en el suelo no tendrían incidencia en la calidad de la fruta, a su vez KORON *et al.*, (2009), aplicó fertilizantes foliares en arándanos de la variedad Bluecrop cultivados en suelos de turba con baja disponibilidad de Ca, señalando que en general ningún fertilizante aplicado tuvo efecto en la calidad de la fruta.

Por lo tanto, esta condición indicaría que el nivel de Ca limitante para la producción de arándanos se encontraría por debajo de los $0,66 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$, que corresponde al menor valor encontrado en este estudio y que no muestra ser limitante para la producción.

4.1.2 Análisis del rendimiento relativo a distintos niveles de magnesio en el suelo. En la Figura 11 se muestra la relación entre distintos niveles de Mg en el suelo y el rendimiento relativo del arándano. Se puede observar que a pesar de poseer una amplia categoría de valores nutricionales, desde bajo, medio y alto, el rendimiento relativo no fue mayormente afectado entre el rango de niveles estudiados, que van entre los $0,2$ a $1,7 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ de Mg en el suelo.

Además, solo observa una pequeña disminución en el rendimiento en el nivel más alto, pero como se desconoce el efecto a un nivel mayor, no es posible concluir que la disminución sea por un problema de toxicidad por parte del elemento, por altos niveles de Mg. Según, ESPECTRUM ANALYTIC (2006), la toxicidad por parte del Mg es algo poco común, porque para que exista un exceso de Mg en la planta se debe dar primero un problema de deficiencia nutricional por falta de K. Esta situación fue altamente improbable de acuerdo con el manejo realizado en este experimento, ya que los niveles de todos los nutrientes fueron corregidos al comienzo del establecimiento del

ensayo. Además, se ratifica en los análisis de suelo realizados en los cuarteles al finalizar la temporada, que muestran que no existió una limitante de K en este ensayo (Cuadro 6).

CUADRO 6 Contenido de potasio en el suelo a distintos niveles de magnesio, muestreados en el final de la temporada.

Variedad	Mg (cmol. kg⁻¹)	K (mg kg⁻¹)	Disponibilidad del K
Elliot	0,20	50,8	bajo
Elliot	0,73	74,3	bajo
Brigitta	0,72	97,4	bajo
Elliot	1,44	119,3	medio
Elliot	0,94	134,9	medio
Elliot	1,40	461,4	muy alto
Brigitta	1,67	1008,8	muy alto

En el Cuadro 6, se puede observar los distintos niveles de K en el suelo de los diferentes cuarteles de ensayo. Los valores observados nos muestran que los niveles de K en el suelos están sobre un nivel muy bajo, que sería limitante para la planta (<50 mg kg⁻¹), encontrándose los niveles bajos, entre 50,1 – 100,0 mg kg⁻¹, los valores medios, entre 100,1 – 250,0 mg kg⁻¹ incluso existiendo valores muy alto de K en el suelo, ya que se encuentran sobre los 250,0 mg kg⁻¹. De esta manera se puede descartar la probabilidad de que existiera un problema de deficiencia nutricional por falta de K, por no encontrar valores críticos de disponibilidad para las plantas.

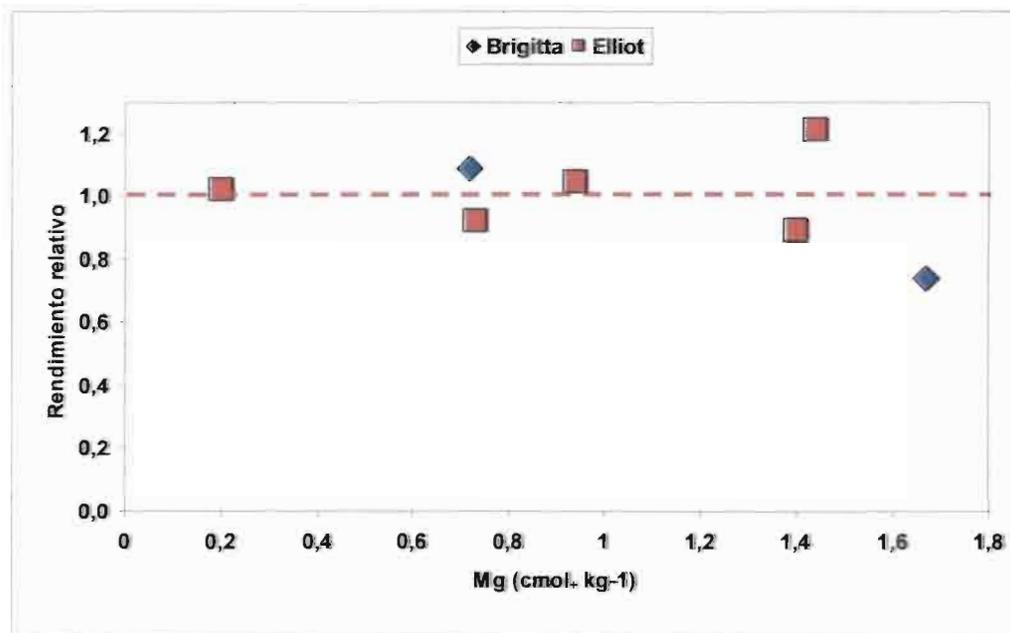


FIGURA 11 Análisis del rendimiento relativo del arándano en relación a distintos niveles de magnesio en el suelo.

A pesar de que en pocas ocasiones se han registrado problemas nutricionales en el arándano por falta de Mg en el suelo, ESPECTRUM ANALYTIC (2006) señala la importancia de mantener un nivel de Mg en un rango normal para prevenir problemas en el futuro ya que se han reportado algunos casos de plantas de arándano con déficit de este elemento en Estados Unidos, debido a una constante acidificación.

Al igual que el Ca, en el caso del Mg no se encontró un nivel limitante en la producción en 0,20 cmol+ kg⁻¹, por lo tanto valores superiores no presentarían una respuesta negativa en la planta. Si se quiere buscar un valor que sea limitante, se deberá estudiar suelos con niveles bajo los 0,20 cmol+ kg⁻¹ de Mg.

4.1.3 Análisis del rendimiento relativo a distintos niveles de azufre en el suelo.

En la Figura 12 se muestra los niveles de S en el suelo evaluados en relación con el rendimiento relativo obtenido. Para este elemento no se observaron variaciones en el rendimiento relativo a medida que se aumenta el contenido de S en el suelo observando que los valores son similares a los mostrados anteriormente para Ca y Mg.

Los niveles de suelo estudiados fueron desde los 15 mg kg^{-1} hasta los 96 mg kg^{-1} , los cuales son niveles normales hasta niveles muy altos. Los niveles altos de S no produjeron una toxicidad para las plantas, de acuerdo con lo observado. Ello podría haberse producido dado el uso de S para disminuir el pH, lo que produciría un exceso de este elemento lo que podría dificultar la absorción de otros nutrientes por parte de la planta.

En general, un alto nivel de S en el suelo es considerado normal en los suelos trumaos (SADZAWKA, 1999). Altos niveles de disponibilidad de este elemento se puede deber a su incorporación junto con otros fertilizantes, pesticidas y agua de riego lo que produce que este elemento no sea crítico a excepción de algunas áreas geográficas (SADZAWKA, 1999). STRIK y HART (1997), indican que el S se debe aplicar para poder reducir el pH del suelo para alcanzar el pH óptimo del cultivo, y que estas aplicaciones deben realizarse antes de la plantación.

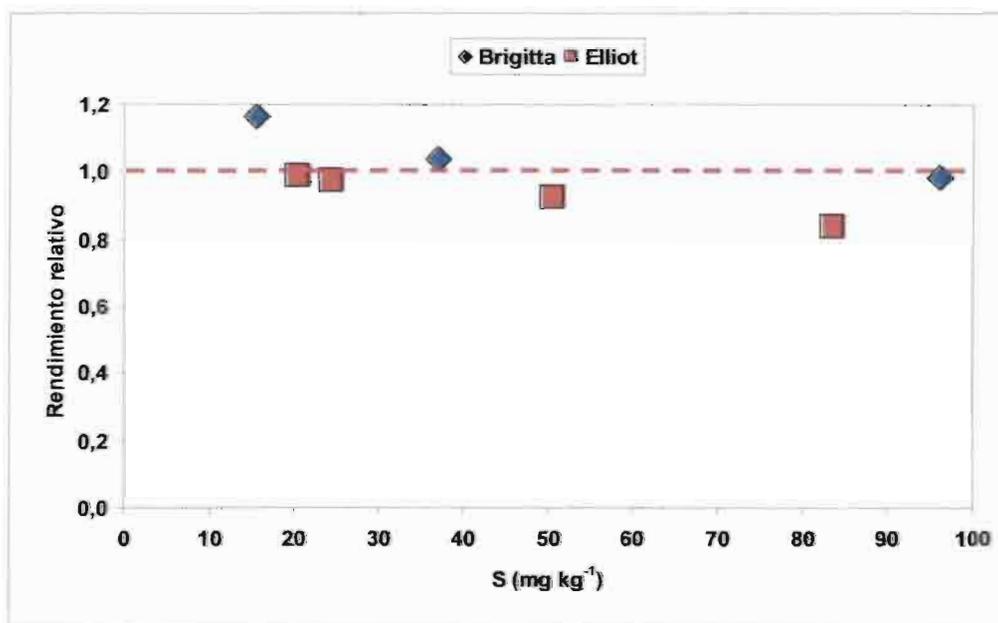


FIGURA 12 Análisis del rendimiento relativo del arándano en relación a distintos niveles de azufre en el suelo.

Es importante destacar que el nivel más bajo de S estudiado fue de $15,5 \text{ mg kg}^{-1}$ lo que es considerado un nivel alto en la fertilización de los cultivos y que solo se encontraría respuesta en este nivel en cultivo sensibles y de alto rendimiento³. Es por esto que el nivel de corrección de los ensayos fue de 25 mg kg^{-1} lo que corresponde a un nivel muy alto de S en el suelo, y los sitios de ensayo no mostraron una gran diferencia entre ellos al momento de realizar el análisis de suelo al final de la temporada de producción. Se considera que existe un bajo nivel de azufre en el suelo cuando es menor a 4 mg kg^{-1} y un nivel alto sobre 12 mg kg^{-1} (SILVA y RODRIGUEZ, 1995).

Aunque se han registrado escasos problemas por déficit de S en plantaciones de arándanos, tal como lo menciona ESPECTRUM ANALYTIC (2006), tampoco se encontró disminución en el rendimiento por toxicidad debido al exceso de S, ya que cuatro ensayos se encontraban con niveles muy altos de este elemento ($>40 \text{ mg kg}^{-1}$). Lo observado nos indica que aunque no se encuentren problemas por el exceso de S en el suelo, la constante acidificación del suelo trae consigo variados problemas de absorción de otros nutrientes por parte de la planta.

En forma de síntesis de lo mencionado anteriormente y de acuerdo con los datos obtenidos entre la relación de niveles de nutrientes en el suelo y el análisis del rendimiento relativo de arándano para niveles de Ca, Mg y S, podemos destacar que aunque existan niveles bajos, medios y altos en los suelos, no se puede definir un nivel crítico o llegar a un nivel de toxicidad del nutriente en el suelo, ya que no se obtuvo una disminución o aumento en el rendimiento relativo del arándano. Ocasionalmente se observan problemas de nutrición por estos elementos según diversos autores. Ello se debería a que la planta de arándano está adaptada a vivir en condiciones con una baja disponibilidad de los macronutrientes secundarios.

Es importante tener presente que con el afán de brindar un pH óptimo al arándano se han descuidado los niveles de Ca en el suelo y que es importante mantener un adecuado nivel de ellos, para no tener problemas en un futuro por una deficiencia de este nutriente. Similarmente, los niveles de S en el suelo deben cuidarse de no ser

³ PINOCHET, D. 2008. Dinámica del azufre en los sistemas agrícolas. Apuntes para la cátedra de Fertilidad y Fertilizantes (IIAS 123). Universidad Austral de Chile, UACH, Valdivia. 6 p.

excesivos, ya que se puede llegar a tener niveles muy altos pero con pH bajos que podría producir una disminución en la absorción de otros nutrientes por parte de la planta.

4.2 Variación de la concentración del calcio, magnesio y azufre foliar en el tiempo. Utilizando los datos de rendimiento en los diferentes niveles de nutrientes en el suelo para Ca, Mg y S en el suelo (Figura 9), se comparó la evolución de la concentración de nutriente en el tejido de la hoja recientemente madura del tercio medio de la ramilla en los niveles extremos de nutriente señalados anteriormente.

A continuación, se muestra la variación de la concentración de los nutrientes en el análisis foliar en el tiempo para Ca, Mg y S. Los datos fueron obtenidos desde el 15 de diciembre de 2009 y el 13 de abril de 2010 para arándano de las variedades de Elliot y Brigitta.

4.2.1 Variación de la concentración de calcio en el tiempo. En la Figura 13 se muestra la concentración del Ca foliar a través del tiempo para Brigitta y Elliot. En ambos casos se observa que la concentración de Ca se incrementa a través del tiempo desde diciembre hasta el mes de abril. Esto es independiente de la variedad y de los niveles de disponibilidad de nutriente en el suelo, ya sean estos muy bajos, medios o altos.

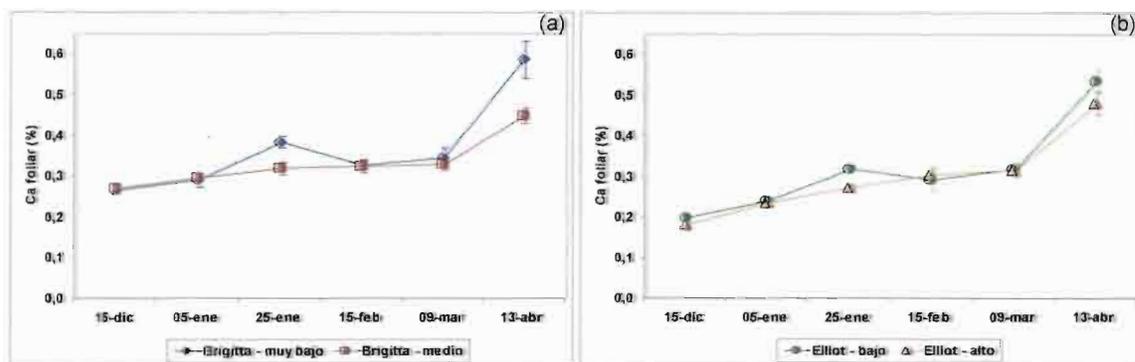


FIGURA 13 Análisis foliar de la concentración de calcio en el tiempo, en las variedades Brigitta (a) y Elliot (b), a distintos niveles de disponibilidad de calcio en el suelo.

Como se menciona anteriormente, la concentración de Ca foliar se incrementa en ambos casos. De acuerdo a los niveles de disponibilidad encontrados no se observan mayores diferencias entre ellos, solamente se observa una diferencia entre el muestreo de finales de enero para ambas variedades y el muestreo de mediados de abril para el caso de Brigitta, donde la concentración en el nivel de disponibilidad muy bajo finalizó con un nivel mayor en el tejido para el caso de Brigitta (Figura 13 a), pero el nivel es igual en ambos niveles de disponibilidad para el caso de Elliot (Figura 13 b). Esto no sería lo esperado, mostrando entonces que en general, no existieron diferencias en concentración de Ca en los tejidos para hojas de plantas con las diferentes disponibilidades de Ca en el suelo. Es importante señalar que todos los niveles de Ca foliar se encuentran sobre el rango deficitario, porque no poseen valores de concentración menor a 0,13% (HANSON y HANCOCK, 1996; SPECTRUM ANALYTIC, 2006).

Datos similares fueron encontrados en estudios realizados por YANG (2002), donde se muestra que la concentración de Ca va en aumento entre los meses de mayo – agosto para el hemisferio norte, más precisamente en el estado de Oregón. SILVA y RODRIGUEZ (1995), señalan que el Ca se acumula hacia el final de período del crecimiento, en los frutales en general, VIDAL *et al.*, (1999) indica que en arándanos Ojo de conejo (*Vaccinium ashei*) el Ca tiene una clara tendencia a aumentar su concentración en las hojas hasta la cosecha donde se presenta sin variación aumentando ligeramente en postcosecha. La acumulación de Ca se debe a que por ser absorbido mediante el mecanismo de flujo de masas llega a las zonas de destino vía xilema y se va acumulando en ellas, por lo que el Ca se va acumulando en los tejidos a medida que la planta envejece (VIDAL *et al.*, 1999). La acumulación en la hoja es lo que genera problemas para la acumulación de Ca en el fruto en frutales (SILVA y RODRIGUEZ, 1995).

Autores como SILVA y RODRIGUEZ (1995); HIRZEL y RODRIGUEZ (2001), recomiendan realizar un diagnóstico nutricional para el arándano entre los meses de enero y febrero. Con los datos mostrado anteriormente no se puede realizar una recomendación clara para la fecha de muestreo foliar, ya que estos valores nos muestran solo una aproximación, que debe ser validada con los datos obtenidos

durante una próxima temporada, pero se puede indicar una recomendación tentativa de muestreo foliar, que sería a finales de la temporada de cosecha (mediados de abril para la zona sur), ya que es el momento en que se diferencian claramente las concentraciones. La importancia de estudiar las distintas fechas de diagnóstico foliar es que éstas son variables según el lugar donde se cultiva el arándano, como lo menciona YANG (2002).

La concentración foliar normal de Ca en arándanos se encuentran entre el 0,41 a 0,80% (HIRZEL y RODRIGUEZ, 2001; HART *et al.*, 2006). Otros autores como HANSON y HANCOCK (1996) se refieren a que el nivel normal se encontraría entre 0,34 – 0,80%. Lo que según a estos datos, se refleja que un nivel normal de Ca se estaría observando en los análisis foliares realizados a mediados de marzo en adelante para esta zona sur, afirmando de esta manera que en los niveles de disponibilidad de Ca estudiados no son limitantes para la producción en estas condiciones de producción.

4.2.2 Variación de la concentración de magnesio en el tiempo. En la Figura 14 se puede observar la concentración foliar de Mg en el tiempo transcurrido desde los meses de diciembre hasta abril, para las variedades de Brigitta y Elliot, graficando los distintos niveles de concentración nutricional a diferentes disponibilidades de Mg en el suelo, ya sea en rango de disponibilidad medio y alto para el caso de Brigitta y de niveles bajos hasta altos para el caso de Elliot.

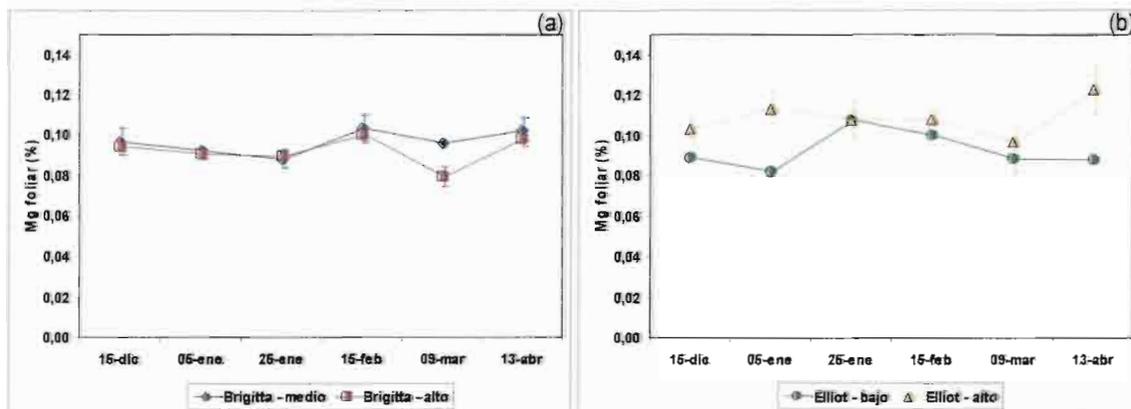


FIGURA 14 Análisis foliar de la concentración de magnesio en el tiempo, en las variedades Brigitta (a) y Elliot (b), a distintos niveles de disponibilidad de magnesio en el suelo.

Como se observa en la Figura 14, las concentraciones de Mg foliar en ambas variedades se mantienen constantes a lo largo del tiempo de medición, no existiendo una clara aminoración o acumulación paulatina del Mg en las hojas por parte de la planta. Esto es similar en ambas variedades y en los distintos niveles de disponibilidad de Mg en el suelo. Además se observa que en ambos casos los niveles de Mg foliar se encuentran sobre el límite demarcado como deficiente por los estándares foliares establecidos, que señalan que la planta se encuentran con problemas nutricionales de Mg si sus niveles foliares están bajo los 0,08%.

En el caso de la variedad Brigitta (Figura 14 a), se observa que en ambos niveles de disponibilidad de Mg en el suelo (medio y alto), las concentraciones foliares en ambos casos fueron similares en el período analizado, por lo que a pesar de los distintos estados nutricionales de la planta, no se refleja en una disminución o aumento de la concentración de Mg en las hojas. En cambio en la variedad Elliot (Figura 14 b), en ambos niveles de disponibilidad de Mg (bajo – alto), las curvas de concentración de nutriente en las hojas fueron diferentes, mostrando el nivel menor de disponibilidad en el suelo con una menor concentración foliar, esta concentración en el nivel de baja disponibilidad aumenta entre enero y febrero y finalmente disminuye, ubicándose bajo el nivel de concentración de el ensayo con alta disponibilidad de Mg. Esto hace pensar que para esta variedad se puede realizar un diagnóstico nutricional en el mes de abril,

al final de la temporada, ya que en este momento se encuentran diferencias foliares para el caso del Mg en suelo con baja y alta disponibilidad de este elemento.

YANG (2002), señala que la concentración de Mg foliar tiende a aumentar ligeramente en la hoja en el transcurso de la temporada, entre la cuaja de los frutos, hasta el final de la cosecha, lo que no coincide con los resultados mostrados, ya que en este caso la concentración de Mg, aunque presenta cambios en el tiempo, al comparar el nivel inicial y final, nos muestra que los valores son similares en ambos casos. En cambio VIDAL *et al.*, (1999), indica en el caso de arándanos Ojo de conejo (*Vaccinium ashei* R.) el Mg fue el elemento con mayor estabilidad a lo largo de la estación de crecimiento.

Aunque todas las concentraciones se encuentran por sobre el límite señalado como deficiente en la planta, diversos autores señalan que una concentración óptima de Mg foliar se encuentra con niveles de 0,12 y 0,25% (HANSON y HANCOCK, 1996; HART *et al.*, 2006), aunque otros autores señalan que el valor normal se encuentra por sobre el 0,10% (HIRZEL y RODRIGUEZ, 2001; FUQUA *et al.*, 2005). Siguiendo estos valores, se puede observar que la variedad Brigitta no alcanza a tener valores que lleguen a 0,12% durante la temporada, pero si posee valores sobre el 0,10% al final de la temporada en ambos niveles de disponibilidad. En cambio para el caso de Elliot se presentan valores sobre 0,12% al final de la temporada para el nivel de disponibilidad de Mg alto, no así para el nivel bajo que presenta valores bajo el rango normal.

HIRZEL y RODRIGUEZ (2001), señalan que la fecha de diagnóstico foliar debería realizarse entre enero y febrero, pero por lo observado anteriormente en tales fecha no se tiene un nivel estable de concentración de Mg foliar para la zona sur. En cambio, ESPECTRUM ANALYTIC (2009), señala que el diagnóstico debe hacerse después de la cosecha. En este caso para la zona sur se debe recomendar un muestreo foliar a final de temporada (mediados de abril), ya que se observan diferencias en el caso de Elliot (Figura 14 b), donde se puede diagnosticar entre un nivel bajo - alto de disponibilidad de Mg en el suelo.

4.2.3 Variación de la concentración de azufre en el tiempo. En la Figura 15 se observa la variación de la concentración de S en el tiempo para las variedades Brigitta (a) y Elliot (b), con diferentes niveles de disponibilidad de S en el suelo.

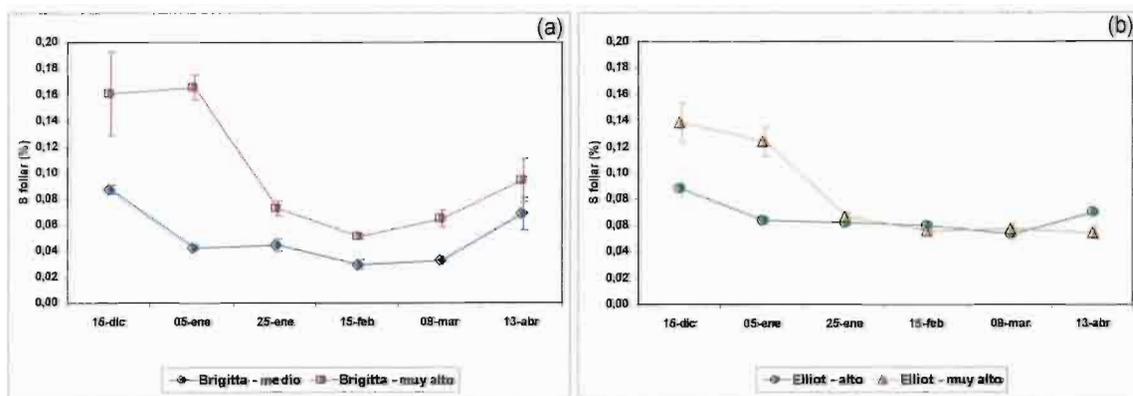


FIGURA 15 Análisis foliar de la concentración de azufre en el tiempo, en las variedades Brigitta (a) y Elliot (b), a distintos niveles de disponibilidad de azufre en el suelo.

Como se observa en la Figura 15, la concentración de S a nivel foliar en el arándano, comienza a disminuir entre los meses de diciembre – abril, en ambas variedades estudiadas y a los distintos niveles de disponibilidad de S del suelo. En el caso de la variedad Brigitta (Figura 15 a), la concentración disminuye desde diciembre hasta mediados de febrero, para luego comenzar a incrementarse hasta mediados de abril. En la variedad Elliot (Figura 15 b), las concentraciones de S en la hojas comienzan a decrecer a través de la temporada, sin presentar un aumento de la concentración como ocurre en el caso anterior.

Se puede observar que teniendo niveles medios a niveles muy altos de disponibilidad de S en el suelo, las concentraciones foliares en ambos casos decrecen rápidamente e incluso llegan a niveles bajo el límite señalado como deficiente en los estándares nutricionales encontrados, ya que el valor crítico corresponde a la concentración de S foliar menor a un 0,08%. Como no se encontraron problemas en el rendimiento por falta de S y no se detectaron suelos con niveles bajos de este elemento, para obtener un análisis que sea representativo y que indique un nivel nutricional óptimo, el

diagnóstico debe realizarse en los primeros meses de la cosecha para variedades tempranas como Brigitta y en floración para las variedades tardías como Elliot en este caso, para no encontrar niveles foliares bajos de S y de esta manera suponer una deficiencia en huertos o cuartos que no la posean.

YANG (2002), menciona que la concentración de S foliar disminuye en la temporada de producción desde mayo – agosto en el estado de Oregón, esto es similar a lo ocurrido en este caso, ya que en los primeros meses se observan concentraciones del 0,11% al inicio de la temporada y llegando a niveles del 0,07% al final. HART *et al.*, (2006), señalan que el rango de concentración normal se encuentra entre el 0,11 – 0,16%, estos valores los encontramos en ambas variedades en los meses de diciembre, principios de enero en los niveles de disponibilidad muy alto de S en el suelo, lo que confirma que en este punto se debe realizar un diagnóstico nutricional para el caso del S.

4.3 Análisis del rendimiento relativo con diferentes niveles de calcio, magnesio y azufre foliar. Este análisis corresponde a los promedios de los diferentes niveles de concentraciones foliares medidos en el tiempo, de los ensayos establecidos en los cuarteles sin corrección del elemento analizado. En la Figura 16, se muestra el análisis del rendimiento relativo sobre las distintas concentraciones foliares, los valores del rendimiento relativo fueron los señalados en el primer punto de la discusión y corresponde a los datos obtenidos en la cosecha durante la temporada 2009 – 2010, con diferentes niveles de disponibilidad del nutriente en el suelo y en dos variedades diferentes.

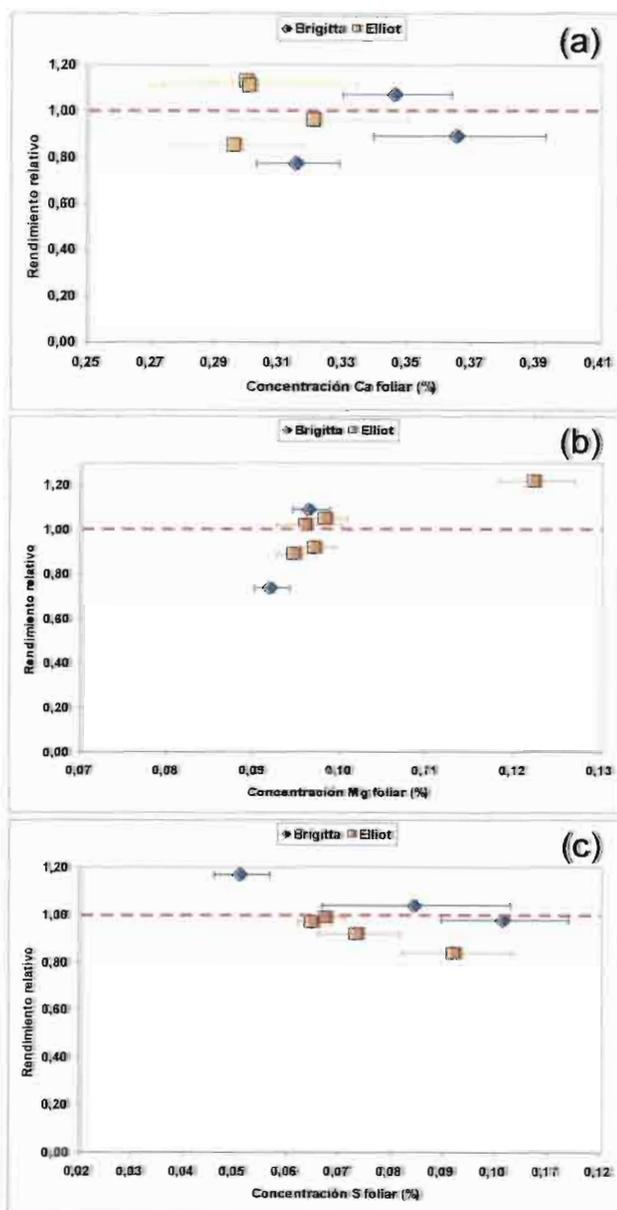


FIGURA 16 Análisis del rendimiento relativo en diferentes concentraciones foliares para calcio (a), magnesio (b) y azufre (c), para las variedades Brigitta y Elliot.

En el caso del Ca (Figura 16 a), se puede observar diferentes niveles de concentración de Ca foliar, que van desde los $0,30 \pm 0,02\%$ hasta los $0,37 \pm 0,02\%$. En ambas concentraciones foliares no existió una modificación importante en el rendimiento relativo en las variedades estudiadas, ya que los valores se mantuvieron cercanos al

máximo relativo, lo que ratifica que a diferentes niveles de Ca no existió un aumento o disminución de la producción por parte de la planta, ya que no se encontró un rango crítico entre estos valores. Esto se debe a que las plantas de las familias de las Ericaceae son eficientes en la absorción del Ca por crecer en suelos ácidos, no mostrándose afectadas en rangos de pH que van desde los 3,40 a 6,00 (KORCAK, 1988), los valores de pH H₂O registrados en los ensayos fueron de 4,67 como mínimo y de 5,32 como valor máximo (Cuadro 4), encontrándose fuera del rango en que podría afectar la absorción de Ca por efectos del pH.

Como se menciona anteriormente, los valores de concentración foliar crítico son diversos según diferentes autores, ya que muchos factores influyen en la variabilidad de las concentraciones, como son las prácticas de manejo, el clima, las diferencias de suelo, entre otras (SANDERSON *et al.*, 2008). KORCAK (1988) y HANSON y HANCOCK (1996), señalan como concentración normal de Ca foliar para el arándano alto de 0,30% durante la etapa de fruta madura (entre los meses de enero y febrero para el sur de Chile), esta concentración es baja haciendo la comparación con otros frutales como el manzano (*Malus domestica*) y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) que poseen un 1,7% y un 2,0% de Ca foliar respectivamente, pero se encuentra dentro del rango normal señalado por diversos autores que van desde los 0,23% a 0,80% mostrados en el Cuadro 7.

CUADRO 7 Rangos normales de concentración foliar del arándano para calcio, magnesio y azufre encontrado en diferentes publicaciones.

Ca	Mg	S	
% foliar			
0,30 - 0,80	0,15 - 0,30	0,12 - 0,20	*
0,40 - 0,80	0,10 - 0,40	s.i.	**
0,41 - 0,80	0,13 - 0,25	0,11 - 0,16	***
0,23 - 0,80	0,12 - 0,31	0,08 - 0,46	****

FUENTE: Elaborado a partir de datos obtenidos por: *HANSON y HANCOCK (1996); **HIRZEL y RODRIGUEZ (2001); ***HART *et al.*, (2006); ****PORMALE *et al.*, (2009).

Para el Mg (Figura 16 b), se observa que existe una disminución del rendimiento relativo, alcanzando valores de 0,74 en las menores concentraciones de Mg foliar, que fue de $0,092 \pm 0,002\%$, esto a su vez corresponde a un nivel de alta disponibilidad de Mg en el suelo $1,67 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$ (Figura 9). Es posible, que la disminución en el rendimiento no se deba a un problema en la disponibilidad de Mg, más bien que se deba a un problema de absorción, ya que autores como SILVA y RODRIGUEZ (1995), indican que puede existir un problema de deficiencia de Mg debido a una fertilización excesiva de K, como se indica en el análisis final de suelo (Cuadro 6), donde muestra que existe un nivel muy alto de K disponible para las plantas ($1008,8 \text{ mg kg}^{-1}$), lo que puede haber generado este problema de deficiencia de Mg foliar, lo cual debe ser evaluado posteriormente para tener mayor certeza si ocurrió una interacción entre el K y el Mg. En general los valores encontrados van desde los $0,092 \pm 0,002\%$ hasta los $0,122 \pm 0,004\%$ encontrándose dentro del rango óptimo señalado por HIRZEL y RODRIGUEZ (2001) y PORMALE *et al.*, (2009) (Cuadro 7), aunque quedaría fuera del rango con los valores propuestos por HANSON y HANCOCK (1996) y HART *et al.*, (2006) donde señalan que el óptimo se encontraría en valores superiores a 0,15 y 0,13% respectivamente.

En el análisis del S (Figura 16 c), se observa un rango amplio de concentraciones foliares, que van desde los $0,05 \pm 0,005\%$ hasta los $0,10 \pm 0,012\%$, entre los cuales no se registraron grandes modificaciones en el rendimiento relativo en esta temporada para ambas variedades. Estos valores, al igual que lo señalado en puntos anteriores, nos indican, que los niveles y concentraciones de S estudiados, no son limitantes para la producción en el arándano. En relación con los valores señalados en el Cuadro 7, PORMALE *et al.*, (2009) señala que los valores entre los 0,08 – 0,46% son los óptimos para el diagnóstico foliar, aunque KORCAK (1988), indica que sobre 0,05% es suficiente a nivel foliar, en este caso con el menor valor indicado de los $0,05 \pm 0,005\%$ no se determinó un problema de S en la planta, por lo que el valor nos indica que el nivel no presenta limitantes en nuestras condiciones de producción.

Como síntesis podemos destacar que los valores obtenidos en Ca y S no se registró un nivel crítico foliar, aunque existan valores considerado fuera del rango normal (Cuadro 7), lo que confirma que los niveles estudiados fueron suficientes para la producción de

arándanos en la zona sur. En cambio el elemento Mg presentó una disminución en el rendimiento relativo en valores inferiores a 0,095%, pero a su vez este valor correspondía a un alto nivel de disponibilidad de Mg en el suelo ($1,67 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$), lo que se debe evaluar en una segunda temporada para poder definir si se considera como nivel crítico foliar o si fue un problema de absorción del nutriente.

4.4 Rendimiento de las diferentes variedades a distintos niveles de disponibilidad de calcio, magnesio y azufre en el suelo. Se realizó una prueba de Tukey al 0,05% de significancia, para comparar los rendimientos entre los grupos sin y con fertilización en los distintos niveles de disponibilidad de Ca, Mg y S en el suelo (Cuadro 8), de esta forma se muestra las diferencias significativas entre los rendimientos para los distintos grupos.

Para el Ca, en casi todos los niveles no se registraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), aunque las plantas no eran del mismo año de producción, el único nivel que mostró una diferencia fue el nivel correspondiente a $3,69 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$, esto se debe a que las plantas utilizadas eran del año 1991, por lo que su producción fue mayor que las demás que fueron plantadas entre los años 2002 y 2005. Se puede observar una tendencia similar en el caso del Mg, donde se registraron datos mayores en las variedades que fueron plantadas en el año 1991 (con un nivel de $0,94 \text{ cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$), en los otros niveles no mostraron diferencias en los rendimientos. Para el S, aunque existen diferencias entre ensayos con distintos niveles de disponibilidad, no existen diferencias entre tratamientos, las diferencias se deben a que las plantas son de años de plantación que van desde los años 2002 hasta 2006, lo que hace que entre ellas existe una amplia dispersión de los datos obtenidos (Cuadro 8).

CUADRO 8 Rendimientos promedios y diferencias entre grupos, de los tratamientos sin y con fertilización de calcio, magnesio y azufre, en distintos niveles de disponibilidad en el suelo.

Nivel de disponibilidad de Ca $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$	Rendimientos (kg pl^{-1})	
	Sin fertilización	Con fertilización
0,66	2,96 ^b	3,32 ^b
0,71	2,35 ^b	2,12 ^b
3,49	3,09 ^b	3,64 ^b
3,69	8,42 ^a	8,81 ^a
4,01	0,73 ^b	1,02 ^b
4,74	0,92 ^b	0,81 ^b
4,79	1,62 ^b	2,11 ^b
Nivel de disponibilidad de Mg $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$	Rendimientos (kg pl^{-1})	
	Sin fertilización	Con fertilización
0,20	1,91 ^b	1,88 ^b
0,72	3,21 ^b	2,95 ^b
0,73	2,41 ^b	2,63 ^b
0,94	7,61 ^a	7,27 ^a
1,40	2,70 ^b	3,03 ^b
1,44	1,40 ^b	1,15 ^b
1,67	2,04 ^b	2,77 ^b
Nivel de disponibilidad de S mg kg^{-1}	Rendimientos (kg pl^{-1})	
	Sin fertilización	Con fertilización
15,5	0,47 ^e	0,40 ^e
20,3	3,58 ^a	3,61 ^a
24,2	1,08 ^{cde}	1,12 ^{cde}
36,9	1,04 ^{cde}	1,00 ^{de}
50,4	2,37 ^b	2,56 ^{ab}
83,5	1,77 ^{bcd}	2,12 ^{bc}
96,0	2,68 ^{ab}	2,73 ^{ab}

Letras distintas en filas y columnas indican diferencia estadística significativa al 5%, (Tukey).

La relación entre rendimientos de los tratamientos sin y con corrección de la fertilización de Ca, Mg y S, lo podemos observar en la Figura 17, donde se destacan los datos obtenidos en cada elemento y las diferencias entre plantas de mayor a siete años de producción (>7 años), que corresponden a los cuarteles establecidos entre los años 1991 – 2002, y las plantas que poseen menos de siete años de producción (<7 años), que son los cuarteles establecidos entre los años 2003 – 2009. En este análisis no se diferencian los rendimientos obtenidos entre las variedades utilizadas.

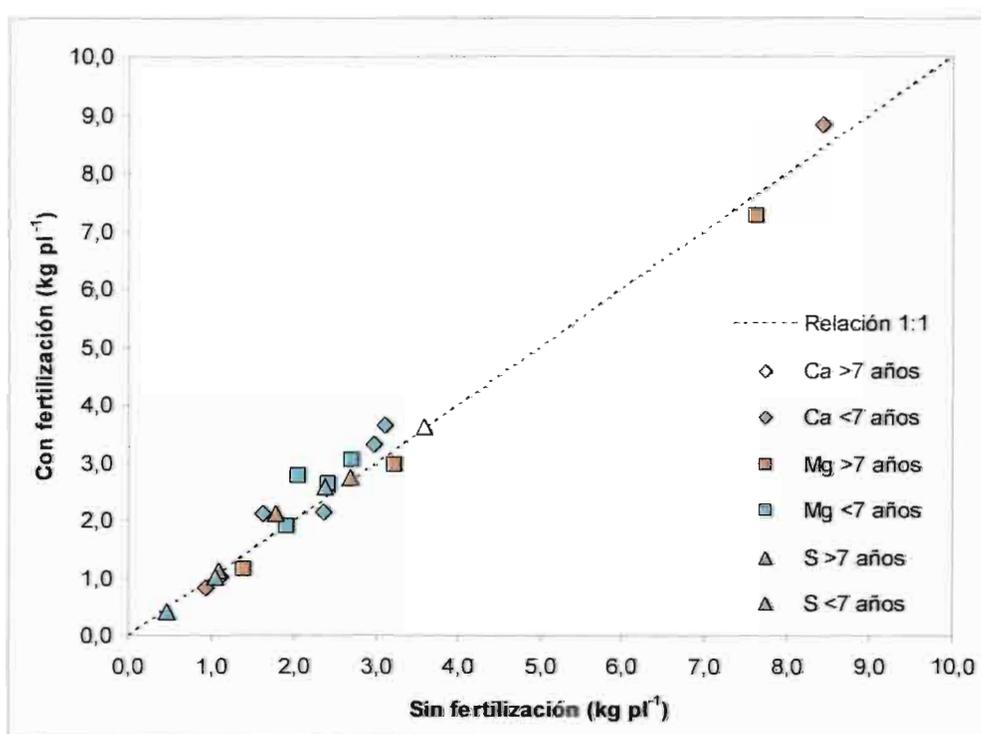


FIGURA 17 Relación del rendimiento entre el tratamiento con y sin fertilización de calcio, magnesio y azufre.

Como se muestra en la Figura 17 los rendimientos obtenidos son similares entre ambos tratamientos, observando que existe una relación directa entre ambos. Los rendimientos registrados van desde los 0,40 kg pl⁻¹ en cuarteles establecidos en el año 2006, hasta 8,81 kg pl⁻¹ en cuarteles establecidos en el año 1991. Los rendimientos obtenidos fueron entre 1,3 t ha⁻¹ en las plantas de tres años hasta obtener rendimientos de 29 t ha⁻¹ en plantas de dieciocho años, este último rendimiento está sobre los

valores encontrados por SANCHEZ (2006), que señala que en la variedad Elliot la producción máxima es de 17 t ha⁻¹.

En general los rendimientos son los normales en el arándano alto, aunque se producen diferencias entre las variedades por las condiciones climáticas y manejos culturales de los huertos, que van desde los 2,4 a 3,6 kg pl⁻¹ en plantas en plena producción (POWELL *et al.*, 2002), lo que demuestra que los rendimientos obtenidos en todos los tratamientos son suficientes para obtener buenas producciones de arándano en la zona sur de Chile.

5 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mostraron que en los distintos niveles estudiados no se determinó un nivel crítico de disponibilidad de Ca, Mg y S en el suelo, ya que los valores considerados nutricionalmente muy bajos y bajos, no fueron limitantes para la producción, por lo tanto los valores limitantes o excesivos se encuentran bajo o sobre los rangos evaluados en este estudio. Inicialmente se propone que los valores críticos de suelo para el cultivo del arándano en el sur de Chile son 0,66 (cmol_c kg⁻¹) de Ca, 0,20 (cmol_c kg⁻¹) de Mg y 15,50 (mg kg⁻¹) de S.

Las concentraciones foliares de Ca y Mg fueron similares en los primeros meses de muestreo, mostrando diferencias en el período de postcosecha, lo que da una aproximación para realizar un diagnóstico nutricional. El S, en cambio, mostró diferencia en los primeros meses de muestreo, llegando a niveles similares al final de la temporada, por lo que se debe hacer un análisis diferenciado para estos elementos, pues si las muestras se recolectan en un mismo período, puede inducir a errores en la planificación de la fertilización para la siguiente temporada.

En todas las concentraciones foliares no se registró una disminución en el rendimiento relativo por problemas de deficiencia o toxicidad nutricional. En el Mg se encontró una disminución en menores concentraciones con alta disponibilidad de Mg en el suelo, lo que puede ser posible por un problema de absorción por existir interacción con K que por un problema de nutrición. En Ca y S las concentraciones fueron adecuadas en todos los niveles estudiados, lo que ratifica la eficiencia que poseen estas plantas para obtener los nutrientes en suelos con bajas cantidades disponibles.

Los rendimientos en todos los tratamientos fueron adecuados de acuerdo con lo esperado, no registrándose valores inferiores a los normales según la edad de producción. A su vez en ambos tratamientos los rendimientos obtenidos fueron similares estadísticamente, descartando que los bajos niveles nutricionales sean un problema para el rendimiento en la zona sur de Chile.

6 BIBLIOGRAFIA

- ANGELETTI, P.; CASTAGNASSO, H.; MICELI, E.; TERMINIELLO, L.; CONCELLON, A.; CHAVEZ, A. y VICENTE, A. 2010. Effect of preharvest calcium application on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 58. 98 – 103 p.
- CHILE, CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN). 2003. Estudio Agrológico. Descripciones de suelos materiales y símbolos X región. Tomo I, II. Publicación 123.
- CHILE, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, INIA. 2011. Interpretación de Análisis Químico de Suelos. (On line). <<http://www.inia.cl/link.cgi/suelo/resultados/7706>> (17 may. 2011).
- CHILEAN BLUEBERRY COMMITTEE. 2011. Regiones Productivas. (On line). <http://comitedearandanos.cl/2010/spanish/regiones_productivas.php> (29 ene. 2012).
- DRUMMOND, F.; SMAGULA, J.; ANNIS, S. y YARBOROUGH, D. 2009. Organic Wild Blueberry Production. Maine Agricultural and Forest Experiment Station the University of Maine. Bulletin 852. 49 p.
- ESPÍNDOLA, L. 2003. Producción de berries en Chile. 1º Seminário Brasileiro sobre Pequenas Frutas. Brasil. 16 – 23 p.
- FUAQUA, 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.
- GODOY, C.; MONTERUBBIANESI, G. y TOGNETTI, J. 2008. Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit grown with exponential mixed models. *Scientia Horticulturae* 115. Buenos Aires, Argentina. 368 – 376 p.
- HANSON, E. y HANCOCK, J. 1996. Managing the nutrition of Highbush Blueberries. Michigan State University Extensión, March. 8 p.
- HANSON, E. y BERKHEIMER, S. 2004. Effect of Soil Calcium Applications on Blueberry Yield and Quality. *Small Fruits Review*. Volume 3, Issue 1-2. 133 – 139 p.

- HART, J.; STRIK, B.; WHITE, L. y YANG, W. 2006. Nutrient Management for Blueberries in Oregon. Nutrient Management guide. November 2006. 16 p.
- HAVLIN, J.; BEATON, J.; TISDALE, S. y NELSON, W. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Sixth edition. Pearson Prentice Hall. 499 p.
- HIRZEL, J. y RODRIGUEZ, N. 2001. Diagnóstico del estado nutricional de los frutales. 1. Análisis foliar. Informativo Agropecuario Bioleche INIA Quilamapu. Dic 2001, Vol. 14(4). 21 – 23 p.
- HIRZEL, J. y RODRÍGUEZ, N. 2003. Necesidades nutricionales y fertilización del cultivo de arándano en etapa productiva. Informativo agropecuario bioleche – INIA Quilamapu. 3 p.
- HIRZEL, J. y RODRIGUEZ, N. 2003. Acidificación de suelos para plantaciones de arándanos. Informativo Agropecuario Bioleche INIA Quilamapu V. 16 (3). 2 p.
- HIRZEL, J. 2008. Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. Colección Libros INIA N° 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. 296 p.
- KIRSTEN, A. 2009. The Mid – Atlantic. Berry Guide for Commercial Growers 2010 – 2011. (On line). < <http://pubs.cas.psu.edu/freepubs/MAberryGuide.htm> > (14 jul. 2011).
- KORCAK, R. 1988. Nutrition of Blueberry and Other Calcifuges. Horticultural Reviews, Volume 10. 183 – 227 p.
- KORON, D.; STURM, K. y PAVLIN, S. 2009. Effects of Ca foliar fertilizers on fruit quality of highbush blueberry. (Original no consultado): ISHS Acta Horticulturae 810: IX International Vaccinium Symposium.
- KREWER, G. y SCOTT, D. 1999. Blueberry Fertilization in Soil. University of Georgia. Ext. Fruit Publication 01 -1. 14 p.
- MAINLAND, CH. 1994. Manejo del arándano. Seminario Internacional Producción de Frambuesa y Arándano en Chile. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile. 115 – 127 p.
- MEDEL, F. 1988. Fertilización y nutrición mineral de huertos frutales en el sur de Chile. Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), Chile. 55 p.
- MUÑOZ, C. 1988. Arándano: Antecedentes Generales. Seminario: El cultivo del arándano. INIA Carillanca. Temuco, Chile. 9 – 12 p.

- NOVOA, R. y VILLASECA, S. 1989. Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA). 221 p.
- LAROZE, P. 2010. Factibilidad económica de la implementación de riego suplementario en praderas permanentes para lecherías del sur de Chile. Estudio de caso del riego K-Line en Mariquina. Tesis Ing. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 77 p.
- LOBOS, W. 1988. El arándano en Chile. Seminario: El cultivo del arándano. INIA Carillanca. Temuco, Chile. 191 – 203 p.
- OPAZO, J. 2006. Calidad de Suelo, Nutrición y Fertilización para Arándanos. Revista Aconex. Número 93 (oct – dic). 11 – 14 p.
- PARADA, E. 2005. Caracterización del Aceite y la Fibra Dietética Obtenidos a Partir de Semilla de Arándano (*Vaccinium corymbosum* L.). Tesis Lic. Cs. Alim. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 90 p.
- 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, UACH, Facultad de Ciencias Agrarias. 74 p.
- PORMALE, J.; OSVALDE, A. y NOLLENDORFS, V. 2009. Comparison study of cultivated highbush and wild blueberry nutrient status in producing plantings and woodlands, Latvia. NJF Seminar and International Scientific Conference: *Vaccinium* spp. And Less Known Small Fruit: Challenges and Risks. 80 – 87 p.
- POWELL, A.; DOZIER, W. y HIMELRICK, D. 2002. Commercial Blueberry Production Guide for Alabama. Alabama A&M Auburn Universities. Alabama Cooperative Extension System. ANR-904. 16 p.
- RETAMALES, J. 1988. Fisiología y nutrición de arándanos. Seminario: El cultivo del arándano. INIA Carillanca. Temuco, Chile. 27 – 46 p.
- RETAMALES, J. y ARREDONDO, G. 1995. Calcio en arándanos. Calcio en Fruticultura. Symposium Internacional, Talca, 17 – 18 oct. 1995. 128 – 140 p.
- RODRÍGUEZ, M. 1989. Geografía Agrícola de Chile. Santiago. Chile. Editorial Universitaria. 317 p.
- RODRÍGUEZ, J.; PINOCHET, D. y MATUS, F. 2001. Fertilización de los Cultivos. LOM Ediciones. Santiago, Chile. 117 p.

- SANCHEZ, E. 2006. Diagnóstico y proyección de la producción de arándanos en la zona sur de Chile. Tesis Lic. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 93 p.
- SANDERSON, K.; JORDAN, C. y FILLMORE, S. 2008. Leaf Nutrient Ranges for Wild Blueberries in Prince Edward Island. *International Journal of Fruit Science*, Vol. 8(1-2). 63 – 68 p.
- SAN MARTIN, J. 2003. Experiencia del cultivo del arándanos en Chile, con énfasis en variedades de bajo requerimiento de frío. 1º Seminário Brasileiro sobre Pequenas Frutas. Brasil. 24 – 35 p.
- SADZAWKA, A. 1999. Manual de azufre en suelos y plantas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Serie Remehue nº 71. 15 p.
- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; GREZ, R.; MORA, M.; FLOREZ, H. y NEAMAN, A. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA Nº 34, Santiago, Chile. 164p.
- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; GREZ, R. y MORA, M. 2006. Acidificación de los suelos volcánicos de Chile. IVth International Symposium on Deteriorated Volcanic Soils. Morelia, Tlaxcala, México. 8 p.
- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; 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 Nº 40, Santiago, Chile. 140 p.
- SIERRA, C. 2003. Fertilización de cultivos y frutales en la zona norte. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi. Chile. Boletín INIA Nº 97. 72 p.
- SILVA, H. y RODRIGUEZ, H. 1995. Fertilización de Plantaciones Frutales. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). 590 p.
- SPECTRUM ANALYTIC INC. 2006. A Guide to Fertilizing Blueberries. Fertilizing Blueberries. (On line). < http://www.spectrumanalytic.com/support/library/rf/A_Guide_to_Fertilizing_Blueberries.htm> (17 jun. 2011).
- STRIK, B. y HART, J. 1997. Blueberries. Fertilizer guide. Extension soil scientist. Oregon State University. 5 p.

- STÜCKRATH, R.; QUEVEDO, R.; DE LA FUENTE, L.; HERNANDEZ, A. y SEPULVEDA, V. 2008. Effect of Foliar Application of Calcium on the Quality of Blueberry Fruits. *Journal of Plant Nutrition*. Vol. 31. 1299 – 1312 p.
- SUDZUKI, F. 2002. Cultivo de frutales menores. Editorial Universitaria. Santiago. 184 p.
- TOSSO, J. 1985. Suelos Volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. 723 p.
- TROCME, S. y GRAS, R. 1979. Suelo y fertilización en fruticultura. Ediciones Mundi-Prensa. 388 p.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). 2011. National Nutrient Database for Standard Reference (blueberry, raw). (On line). <<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2266?fg=&man=&facet=&format=&count=&max=25&offset=&sort=&qlookup=blueberry+>> (14 jul. 2011).
- VALENZUELA, J. 1988. Requerimientos agroclimáticos de las especies de arándano. Seminario: El cultivo del arándano. INIA Carillanca. Temuco, Chile. 17 – 23 p.
- 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)*. Vol. 59 (4), octubre – diciembre. 309 – 318 p.
- VIDAL, I. 2007. Fertirriego en berries. Ed. Fac. De Agronomía de la Universidad de Concepción. Chile. 15 p.
- YANG, W. 2002. Oregon Blueberry Newsletter. Oregon State University. Sep. 30, Vol 2, 3ra edición. 4 p.

7 ANEXOS

ANEXO 1 Rendimientos de los diferentes tratamientos, en los distintos niveles de disponibilidad de calcio en el suelo.

VARIEDAD	PLANT.	NIVEL Ca	TRAT.	REP.	EXPORT.	DES.	TOTAL	PI	PROMEDIO
		cmol. kg ⁻¹			kg	kg	kg	Nº	PLANTA
									kg pl ⁻¹
Briggitta	2004	4,01	SIN	1	11,43	1,51	12,93	10	1,29
Briggitta	2004	4,01	SIN	2	8,67	0,25	8,92	10	0,89
Briggitta	2004	4,01	SIN	3	18,19	1,84	20,02	10	2,00
Briggitta	2004	5,07	CON	1	9,23	0,55	9,78	10	0,98
Briggitta	2004	5,07	CON	2	9,69	0,52	10,21	10	1,02
Briggitta	2004	5,07	CON	3	7,96	1,59	9,55	9	1,06
Briggitta	2004	4,79	SIN	1	16,65	3,18	19,83	10	1,98
Briggitta	2004	4,79	SIN	2	5,92	1,17	7,08	10	0,71
Briggitta	2004	4,79	SIN	3	18,76	2,92	21,68	10	2,17
Briggitta	2004	5,18	CON	1	11,93	2,54	14,47	10	1,45
Briggitta	2004	5,18	CON	2	22,53	1,88	24,41	10	2,44
Briggitta	2004	5,18	CON	3	21,70	2,65	24,35	10	2,43
Briggitta	2005	0,66	SIN	1	27,64	1,49	29,12	10	2,91
Briggitta	2005	0,66	SIN	2	32,24	4,21	36,45	10	3,65
Briggitta	2005	0,66	SIN	3	22,24	1,22	23,46	10	2,35
Briggitta	2005	1,50	CON	1	33,74	3,17	36,91	10	3,69
Briggitta	2005	1,50	CON	2	31,93	1,52	33,44	10	3,34
Briggitta	2005	1,50	CON	3	20,91	2,63	23,53	8	2,94
Elliott	1991	3,69	SIN	1	70,71	32,48	103,18	10	10,32
Elliott	1991	3,69	SIN	2	72,87	19,60	92,46	10	9,25
Elliott	1991	3,69	SIN	3	39,21	17,68	56,89	10	5,69
Elliott	1991	4,34	CON	1	94,08	17,37	111,45	10	11,14
Elliott	1991	4,34	CON	2	84,31	20,43	104,75	10	10,47
Elliott	1991	4,34	CON	3	33,97	14,20	48,17	10	4,82
Elliott	2002	4,74	SIN	1	5,44	2,72	8,16	9	0,91
Elliott	2002	4,74	SIN	2	8,64	2,28	10,92	10	1,09
Elliott	2002	4,74	SIN	3	5,52	1,96	7,48	10	0,75
Elliott	2002	6,32	CON	1	9,48	2,16	11,64	10	1,16
Elliott	2002	6,32	CON	2	3,13	2,12	5,25	10	0,52
Elliott	2002	6,32	CON	3	6,06	1,42	7,48	10	0,75
Elliott	2004	3,49	SIN	1	26,12	3,48	29,61	10	2,96
Elliott	2004	3,49	SIN	2	30,63	4,14	34,76	10	3,48
Elliott	2004	3,49	SIN	3	24,90	3,66	28,56	10	2,86
Elliott	2004	5,52	CON	1	32,71	4,58	37,29	10	3,73
Elliott	2004	5,52	CON	2	31,08	4,65	35,73	10	3,57
Elliott	2004	5,52	CON	3	31,82	4,44	36,27	10	3,63
Elliott	2005	0,71	SIN	1	20,28	2,52	22,80	10	2,28
Elliott	2005	0,71	SIN	2	22,33	3,71	26,04	10	2,60
Elliott	2005	0,71	SIN	3	19,52	2,35	21,86	10	2,19
Elliott	2005	1,27	CON	1	16,16	2,46	18,62	10	1,86
Elliott	2005	1,27	CON	2	21,53	5,00	26,53	10	2,65
Elliott	2005	1,27	CON	3	13,63	4,93	18,56	10	1,86

ANEXO 2 Rendimientos de los diferentes tratamientos, en los distintos niveles de disponibilidad de magnesio en el suelo.

VARIEDAD	PLANT.	NIVEL Mg cmol. kg ⁻¹	TRAT.	REP.	EXPORT. kg	DES. kg	TOTAL kg	PI Nº	PROMEDIO PLANTA kg pl ⁻¹
Briggitta	2002	0,72	SIN	1	31,35	1,98	33,33	10	3,33
Briggitta	2002	0,72	SIN	2	25,65	2,49	28,14	10	2,81
Briggitta	2002	0,72	SIN	3	34,30	0,53	34,83	10	3,48
Briggitta	2002	1,78	CON	1	26,03	1,30	27,33	10	2,73
Briggitta	2002	1,78	CON	2	25,03	2,49	27,52	10	2,75
Briggitta	2002	1,78	CON	3	31,16	2,48	33,64	10	3,36
Briggitta	2004	1,67	SIN	1	13,70	4,54	18,24	10	1,82
Briggitta	2004	1,67	SIN	2	15,80	5,10	20,90	10	2,09
Briggitta	2004	1,67	SIN	3	16,96	5,24	22,19	10	2,22
Briggitta	2004	2,35	CON	1	19,58	4,31	23,89	10	2,39
Briggitta	2004	2,35	CON	2	27,25	5,01	32,26	10	3,23
Briggitta	2004	2,35	CON	3	24,47	2,53	27,00	10	2,70
Elliott	1991	0,94	SIN	1	69,54	23,92	93,45	10	9,35
Elliott	1991	0,94	SIN	2	63,62	18,19	81,81	10	8,18
Elliott	1991	0,94	SIN	3	39,11	13,94	53,05	10	5,30
Elliott	1991	1,85	CON	1	59,24	18,96	78,20	9	8,69
Elliott	1991	1,85	CON	2	51,95	14,15	66,11	10	6,61
Elliott	1991	1,85	CON	3	49,42	15,80	65,21	10	6,52
Elliott	2002	1,44	SIN	1	10,13	4,85	14,98	10	1,50
Elliott	2002	1,44	SIN	2	13,62	4,43	18,05	10	1,80
Elliott	2002	1,44	SIN	3	6,85	2,03	8,88	10	0,89
Elliott	2002	2,15	CON	1	7,75	2,68	10,43	10	1,04
Elliott	2002	2,15	CON	2	9,18	3,03	12,20	10	1,22
Elliott	2002	2,15	CON	3	7,88	3,97	11,85	10	1,18
Elliott	2004	0,73	SIN	1	16,24	1,41	17,65	9	1,96
Elliott	2004	0,73	SIN	2	29,60	0,75	30,34	9	3,37
Elliott	2004	0,73	SIN	3	15,69	1,49	17,19	9	1,91
Elliott	2004	1,88	CON	1	22,18	1,21	23,40	9	2,60
Elliott	2004	1,88	CON	2	18,86	3,52	22,38	9	2,49
Elliott	2004	1,88	CON	3	25,03	0,16	25,19	9	2,80
Elliott	2004	1,40	SIN	1	15,81	1,44	17,25	10	1,73
Elliott	2004	1,40	SIN	2	31,57	2,76	34,33	10	3,43
Elliott	2004	1,40	SIN	3	27,01	2,34	29,35	10	2,93
Elliott	2004	1,50	CON	1	25,62	1,73	27,35	10	2,73
Elliott	2004	1,50	CON	2	33,53	3,24	36,77	10	3,68
Elliott	2004	1,50	CON	3	23,83	2,89	26,72	10	2,67
Elliott	2005	0,20	SIN	1	19,93	2,01	21,94	10	2,19
Elliott	2005	0,20	SIN	2	8,35	1,51	9,86	10	0,99
Elliott	2005	0,20	SIN	3	21,98	3,62	25,59	10	2,56
Elliott	2005	1,51	CON	1	13,74	3,37	17,11	10	1,71
Elliott	2005	1,51	CON	2	16,89	3,08	19,97	10	2,00
Elliott	2005	1,51	CON	3	17,29	1,99	19,27	10	1,93

ANEXO 3 Rendimientos de los diferentes tratamientos, en los distintos niveles de disponibilidad de azufre en el suelo.

VARIEDAD	PLANT.	NIVEL S mg kg ⁻¹	TRAT.	REP.	EXPORT. kg	DES. kg	TOTAL kg	PI Nº	PROMEDIO PLANTA kg pl ⁻¹
Briggitta	2002	96	SIN	1	25,44	1,04	26,47	10	2,64
Briggitta	2002	96	SIN	2	27,91	1,62	29,53	10	2,95
Briggitta	2002	96	SIN	3	23,55	0,93	24,48	10	2,44
Briggitta	2002	95,5	CON	1	29,32	1,85	31,17	10	3,11
Briggitta	2002	95,5	CON	2	26,08	2,96	29,03	10	2,90
Briggitta	2002	95,5	CON	3	20,58	1,06	21,63	10	2,16
Briggitta	2004	36,9	SIN	1	10,33	0,14	10,47	9	1,16
Briggitta	2004	36,9	SIN	2	9,80	0,44	10,24	10	1,02
Briggitta	2004	36,9	SIN	3	8,04	1,35	9,39	10	0,94
Briggitta	2004	38,3	CON	1	10,26	0,66	10,91	10	1,09
Briggitta	2004	38,3	CON	2	8,18	0,88	9,06	10	0,91
Briggitta	2004	38,3	CON	3	9,49	0,65	10,14	10	1,01
Briggitta	2006	15,5	SIN	1	2,74	1,95	4,68	10	0,47
Briggitta	2006	15,5	SIN	2	3,31	2,10	5,41	10	0,54
Briggitta	2006	15,5	SIN	3	3,15	0,88	4,03	10	0,40
Briggitta	2006	20,5	CON	1	2,59	0,62	3,21	10	0,32
Briggitta	2006	20,5	CON	2	3,25	1,10	4,35	10	0,43
Briggitta	2006	20,5	CON	3	3,15	1,41	4,56	10	0,46
Elliott	2002	24,2	SIN	1	11,87	0,00	11,87	10	1,19
Elliott	2002	24,2	SIN	2	17,72	0,38	18,10	10	1,81
Elliott	2002	24,2	SIN	3	23,27	0,00	23,27	10	2,33
Elliott	2002	25,0	CON	1	23,37	0,00	23,37	10	2,34
Elliott	2002	25,0	CON	2	20,53	0,06	20,59	10	2,06
Elliott	2002	25,0	CON	3	19,65	0,00	19,65	10	1,97
Elliott	2002	83,5	SIN	1	8,76	1,91	10,67	9	1,19
Elliott	2002	83,5	SIN	2	6,32	4,28	10,59	10	1,06
Elliott	2002	83,5	SIN	3	7,57	2,52	10,09	10	1,01
Elliott	2002	81,5	CON	1	6,58	2,18	8,76	10	0,88
Elliott	2002	81,5	CON	2	9,28	4,31	13,59	10	1,36
Elliott	2002	81,5	CON	3	7,95	3,17	11,11	10	1,11
Elliott	2004	20,3	SIN	1	30,20	2,42	32,62	10	3,26
Elliott	2004	20,3	SIN	2	35,17	3,06	38,23	10	3,82
Elliott	2004	20,3	SIN	3	32,86	3,58	36,43	10	3,64
Elliott	2004	22,8	CON	1	34,95	3,18	38,13	10	3,81
Elliott	2004	22,8	CON	2	40,27	3,63	43,91	10	4,39
Elliott	2004	22,8	CON	3	23,93	2,42	26,35	10	2,64
Elliott	2004	50,4	SIN	1	18,14	0,60	18,74	9	2,08
Elliott	2004	50,4	SIN	2	21,14	0,67	21,81	9	2,42
Elliott	2004	50,4	SIN	3	22,49	0,92	23,40	9	2,60
Elliott	2004	54,0	CON	1	18,07	1,14	19,20	9	2,13
Elliott	2004	54,0	CON	2	23,65	2,06	25,71	9	2,86
Elliott	2004	54,0	CON	3	20,01	4,31	24,32	9	2,70

ANEXO 4 Concentración de calcio foliar para los diferentes niveles de disponibilidad de calcio en el suelo, por variedad.

VARIEDAD	AÑO	NIVEL Ca cmol. kg ⁻¹	DISP.	REP.	CONCENTRACIÓN Ca FOLIAR (%)					
					15-dic	05-ene	25-ene	15-feb	09-mar	13-abr
Brigitta	2005	0,56	muy bajo	1	0,26	0,26	0,37	0,33	0,30	0,51
Brigitta	2005	0,56	muy bajo	2	0,28	0,31	0,41	0,35	0,38	0,58
Brigitta	2005	0,56	muy bajo	3	0,25	0,31	0,37	0,31	0,36	0,67
Brigitta	2004	5,58	medio	1	0,26	0,30	0,28	0,32	0,40	0,43
Brigitta	2004	5,58	medio	2	0,26	0,29	0,28	0,26	0,29	0,38
Brigitta	2004	5,58	medio	3	0,29	0,30	0,31	0,30	0,32	0,42
Brigitta	2004	6,14	medio	1	0,24	0,29	0,34	0,33	0,31	0,48
Brigitta	2004	6,14	medio	2	0,31	0,32	0,37	0,34	0,33	0,48
Brigitta	2004	6,14	medio	3	0,27	0,29	0,33	0,38	0,33	0,50
Elliot	2005	1,03	bajo	1	0,21	0,25	0,33	0,26	0,33	0,59
Elliot	2005	1,03	bajo	2	0,21	0,24	0,32	0,32	0,32	0,49
Elliot	2005	1,03	bajo	3	0,18	0,23	0,31	---	0,31	0,52
Elliot	2004	4,22	alto	1	0,20	0,24	0,27	0,26	0,30	0,54
Elliot	2004	4,22	alto	2	0,22	0,23	0,26	0,28	0,28	0,37
Elliot	2004	4,22	alto	3	0,23	0,25	0,28	0,28	0,39	0,46
Elliot	2002	6,39	alto	1	0,13	0,23	0,26	0,32	0,32	0,47
Elliot	2002	6,39	alto	2	0,15	0,23	0,29	0,32	0,28	0,56
Elliot	2002	6,39	alto	3	0,16	0,23	0,28	0,36	0,33	0,49

ANEXO 5 Concentración de magnesio foliar para los diferentes niveles de disponibilidad de magnesio en el suelo, por variedad.

VARIEDAD	AÑO	NIVEL Mg cmol. kg ⁻¹	DISP.	REP.	CONCENTRACIÓN Mg FOLIAR (%)					
					15-dic	05-ene	25-ene	15-feb	09-mar	13-abr
Brigitta	2002	0,72	medio	1	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10
Brigitta	2002	0,72	medio	2	0,11	0,09	0,08	0,10	0,10	0,10
Brigitta	2002	0,72	medio	3	0,09	0,09	0,08	0,12	0,10	0,11
Brigitta	2004	1,67	alto	1	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09
Brigitta	2004	1,67	alto	2	0,10	0,09	0,09	0,09	0,07	0,10
Brigitta	2004	1,67	alto	3	0,10	0,09	0,09	0,11	0,08	0,10
Elliot	2005	0,20	bajo	1	0,09	0,08	0,10	0,10	0,08	0,09
Elliot	2005	0,20	bajo	2	0,09	0,08	0,11	0,10	0,08	0,09
Elliot	2005	0,20	bajo	3	0,09	0,08	0,11	0,10	0,10	0,09
Elliot	2004	1,40	alto	1	0,09	0,10	0,08	0,12	0,08	0,11
Elliot	2004	1,40	alto	2	0,10	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10
Elliot	2004	1,40	alto	3	0,09	0,10	0,09	0,10	0,08	0,09
Elliot	2002	1,44	alto	1	0,11	0,12	0,12	0,10	0,09	0,12
Elliot	2002	1,44	alto	2	0,12	0,13	0,12	0,11	0,10	0,14
Elliot	2002	1,44	alto	3	0,12	0,14	0,14	0,12	0,13	0,17

ANEXO 6 Concentración de azufre foliar para los diferentes niveles de disponibilidad de azufre en el suelo, por variedad.

VARIEDAD	AÑO	NIVEL S mg kg ⁻¹	DISP.	REP.	CONCENTRACIÓN S FOLIAR (%)					
					15-dic	05-ene	25-ene	15-feb	09-mar	13-abr
Brigitta	2006	15,5	medio	1	0,09	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04
Brigitta	2006	15,5	medio	2	0,08	0,04	0,04	0,03	0,03	0,08
Brigitta	2006	15,5	medio	3	0,09	0,04	0,05	0,04	0,03	0,08
Brigitta	2002	96,0	muy alto	1	0,11	0,18	0,07	0,06	0,06	0,08
Brigitta	2002	96,0	muy alto	2	0,15	0,15	0,08	0,05	0,08	0,13
Brigitta	2002	96,0	muy alto	3	0,22	0,16	0,06	0,05	0,06	0,08
Elliot	2004	20,3	alto	1	0,10	0,06	0,07	0,07	0,04	0,08
Elliot	2004	20,3	alto	2	0,09	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07
Elliot	2004	20,3	alto	3	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,06
Elliot	2002	24,2	alto	1	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07
Elliot	2002	24,2	alto	2	0,09	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07
Elliot	2002	24,2	alto	3	0,10	0,07	0,05	0,06	0,06	0,07
Elliot	2004	50,4	muy alto	1	0,15	0,14	0,07	0,06	0,04	0,05
Elliot	2004	50,4	muy alto	2	0,11	0,11	0,05	0,05	0,06	0,04
Elliot	2004	50,4	muy alto	3	0,09	0,07	0,07	0,06	0,06	0,04
Elliot	2002	83,5	muy alto	1	0,13	0,15	0,06	0,05	0,05	0,07
Elliot	2002	83,5	muy alto	2	0,15	0,14	0,08	0,05	0,07	0,05
Elliot	2002	83,5	muy alto	3	0,20	0,13	0,06	0,07	0,07	0,07



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Agrarias

Escuela de Agronomía

**Rendimiento de Arándano (*V. corymbosum*) var.
Elliott y Briggita en función del nivel de nitrógeno
en suelos volcánicos del Sur de Chile**

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

César Osvaldo Lemus Uribe

Valdivia – Chile

2012

PROFESOR PATROCINANTE:

Dante Pinochet T.

Ingeniero Agrónomo, M. Sc., Ph. D.

Instituto de ingeniería agraria y suelos

PROFESORES INFORMANTES:

Susana Valle T.

Ingeniero Agrónomo, Dr. Sc. Agr

Instituto de ingeniería agraria y suelos

Alex Marabolí Sandoval

Ingeniero Agrónomo

Instituto de ingeniería agraria y suelos

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
	RESUMEN	1
	SUMMARY	3
1	INTRODUCCIÓN	5
2	MATERIAL Y METODOS	10
2.1	Sitios, diseño experimental y tratamientos	10
2.2	Toma de muestras, mediciones y registros en terreno	12
2.3	Análisis en laboratorio	13
2.4	Análisis estadístico	13
3	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	14
3.1	Nitrógeno mineral en el suelo	14
3.1.1	Variación en la profundidad de muestreo de suelo	14
3.1.2	Variación en el tiempo	19
3.1.3	Respuesta a las dosis	21
3.2.	Efecto de la dosis de N sobre el rendimiento de la temporada	22
3.3	Efecto de la dosis de N sobre el crecimiento vegetativo	26
3.4	Efectos de la dosis de N sobre la concentración foliar	32

4	CONCLUSIONES	39
5	BIBLIOGRAFÍA	40
6	ANEXOS	45

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Antecedentes generales de los 6 huertos seleccionados para el estudio	10
2	Características edáficas principales de las series de suelos donde se encuentran los huertos en estudio	11
3	Características climáticas principales de los agroclimas donde se encuentran los huertos en estudio	11
4	Estadígrafos de la figura 2, separados en una línea ajustada con intercepto en 0 y una línea automática con el mejor valor de R^2	18
5	Rendimiento de los tratamientos que obtuvieron el máximo valor y contenido de N mineral promedio de la temporada expresado en ppm medido a 40 cm de profundidad	26
6	resumen de los largos de brotes (cm) medidos en diciembre y abril en los diferentes tratamientos para los 6 huertos	29
7	Concentración de nitrógeno foliar medido durante la segunda semana de enero y su comparación con estándares internacionales de los tratamientos sin aplicación en todos los huertos evaluados y nitrógeno mineral promedio de las primeras 4 fechas de muestreo	36

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Relación entre el N mineral medido a 0-20 y 0-40 cm de profundidad de muestreo en todos los huertos evaluados para el tratamiento sin aplicación de N	15
2	Relaciones entre nitrógeno mineral medido a 20 y a 40 cm de profundidad de los tratamientos sin aplicación	17
3	Variación del nitrógeno mineral de los tratamientos sin aplicación desde mediados de diciembre de 2009 a mediados de abril de 2010 (por huerto, expresado en partes por millón a 0-40 cm de profundidad),	20
4	Datos promedios de N mineral de todo el período de evaluación (diciembre a abril) en función de la dosis de N aplicada, por huerto evaluado	21
5	Rendimientos promedio por huerto (expresados en kilos de fruta por planta) obtenidos en cada cosecha y cantidad de cosechas en cada huerto desde el 1 de enero de 2010	23
6	Relación entre nitrógeno mineral de cada tratamiento (a 40 cm) medido entre mediados de diciembre de 2009 a mediados de febrero de 2010, y rendimiento total de la temporada expresado en términos relativos al tratamiento máximo de cada huerto	24
7	Crecimiento durante la temporada (diciembre a abril) de los brotes, en relación al tratamiento sin aplicación (N 0X) para los diferentes huertos	27

8	Relación entre el nitrógeno mineral del suelo presente de diciembre a febrero y el crecimiento porcentual de brotes en la temporada para todos los tratamientos en los diferentes huertos	31
9	Cambios estacionales de la concentración de nitrógeno foliar en todos los huertos y todos los tratamientos desde mediados de diciembre a mediados de abril	33
10	Variación de la concentración foliar de N (%) durante la temporada en los tratamientos sin aplicación en los 6 huertos evaluados	35
11	Relación entre nitrógeno mineral promedio entre diciembre a febrero y nitrógeno foliar (%) en 6 fechas diferentes, solo de los tratamientos sin aplicación en los 6 huertos evaluados	37

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	detalles del análisis inicial de suelo de los 6 huertos evaluados (julio de 2009)	45
2	Fechas de muestreos y mediciones en terreno entre mediados de diciembre a mediados de abril en todos los huertos evaluados	46
3	Nitrógeno mineral promedio (ppm a 40 cm) por tratamientos en las 6 fechas de muestreo entre diciembre de 2009 a abril de 2010 para todos los huertos evaluados	47
4	rendimientos totales de fruta en todos huertos y tratamientos expresado en kilos promedio por planta	48
5	largo promedio (cm) de los brotes del año medidos en las 6 fechas de muestreo en la temporada de todos los tratamientos y huertos	49
6	contenido de nitrógeno foliar (%) en las muestras de los tratamientos sin aplicación de nitrógeno en las 6 fechas de muestreo	50

RESUMEN

Chile se posiciona hoy como el mayor exportador mundial de arándanos con 12.500 hectáreas plantadas y 429 millones de dólares FOB en exportación el pasado año. La mayor superficie plantada de esta especie se encuentra en ecosistemas dominados por suelos volcánicos, los cuales poseen características favorables para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, existe escasez de estudios nutricionales específicos para estos ecosistemas y la tecnología aplicada para la producción del cultivo es principalmente derivadas desde investigaciones realizadas principalmente en países del hemisferio norte, con ecosistemas diferentes a los de la zona sur de Chile.

El objetivo de el estudio fue relacionar el nivel de nitrógeno con el rendimiento de fruto, análisis foliar y respuesta vegetativa de dos variedades de arándano durante la temporada 2009/2010 en ecosistemas de la región de los Ríos. Para ello se diseñaron ensayos en seis sitios en cinco huertos de esta región. Se aplicaron cuatro niveles de fertilización nitrogenada, además de un tratamiento control, sin fertilización, para evaluar la fertilidad nitrogenada presente desde la mineralización del N de los suelos. Cada tratamiento de nivel de N contó con tres repeticiones. Durante la temporada productiva se midió cada 21 días (6 oportunidades) el contenido de nitrógeno mineral en el suelo, nivel foliar de nitrógeno, largo de brotes y además se registró el rendimiento total de fruta en la temporada.

Se determinó un incremento de nitrógeno mineral del suelo en relación a la dosis de N aplicada, hasta alcanzar un nivel máximo nitrógeno mineral del suelo. La concentración foliar de nitrógeno se redujo en el tiempo en todos los huertos y tratamientos evaluados, independientemente del nivel de N en el suelo. Las diferencias observadas en el crecimiento de los brotes no fue debido al nivel de N presente en el suelo, en este primer año de evaluación y las diferencias entre huertos pueden ser debidas a otros factores no determinados en este estudio. El rendimiento de fruta de la temporada fue dependiente de la disponibilidad de nitrógeno mineral del suelo, observándose

toxicidad en algunos casos, pero no deficiencias de nitrógeno, en los niveles evaluados. Los rendimientos óptimos obtenidos fueron, en todos los casos, con un mismo nivel de nitrógeno mineral de entre 40-55 ppm, nivel que es propuesto como un valor crítico máximo en este estudio.

Se estima que no se observaron efectos de deficiencias de N sobre el crecimiento y productividad del arándano debido a que todos los huertos evaluados tuvieron altos niveles de N en el suelo. Se sugiere que en un segundo año de estudio, sea posible evidenciar respuestas al N más claras en los parámetros evaluados, dado que los efectos de los distintos tratamientos influyen en las reservas de N y en el crecimiento del año siguiente.

SUMMARY

Nowadays, Chile has become the world's largest exporter of blueberries with 12.500 hectares planted and an export value of US\$429 million last year. Majority of the species are planted in ecosystems dominated by volcanic soils which have favourable characteristics for crop development. However, there is a shortage of specific soil nutritional studies for these ecosystems. In addition, the technologies used for the production are mainly results from research conducted in countries of the northern hemisphere with different ecosystems from those of the south zone of Chile.

The objective of this study was to relate the nitrogen rate with the fruit yield, foliar analysis and the response of the vegetation to two varieties of blueberries during the season 2009/2010 in the ecosystems of the Chilean Region de Los Rios. To do this, six trial sites in five orchards were designed in this region. Four levels of nitrogen fertilizer rates were applied. Together with a control treatment, the nitrogen fertility content of the soils was evaluated. Each treatment of nitrogen level had three replications. During the productive season, the nitrogen content in the soil was measured every 21 days (6 times) including foliar level, shoots length, and total yield of fruit.

It was found that the amount of nitrogen applied increases the soil nitrogen to a maximum level. Foliar nitrogen concentration decreased over time in all orchards and treatments evaluated regardless of the nitrogen level in the soil. The observed differences in shoot growth was not due to the level of nitrogen present in the soil in the first year of evaluation and the differences between orchards can be due to other unknown factors in this study. The fruit yield was dependent on the availability of the soil nitrogen. There were observed cases of toxicity but not nitrogen deficiencies in the levels evaluated. Optimal yields obtained were in all cases with the same nitrogen level in soil of between 40-55 ppm. This level is therefore proposed as a maximum critical value in this study

It's estimated that no effects were observed of nitrogen deficiencies on growth and productivity of blueberries because all evaluated orchards had high nitrogen levels in

the soil. It is recommended that further studies could possibly focus on responses to nitrogen on the evaluated parameters, given that the effects of the different treatments affect nitrogen stocks and growth of the following year.

1 INTRODUCCION

El arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L) fue introducido a Chile desde el hemisferio norte en el año 1979 (MEDEL, 1979; MUÑOZ y MOREIRA, 2002). Las plantaciones comerciales con fines de exportación comenzaron en Chile alrededor del año 1987 (FIA, 2002). Estas se concentraron desde la VII región al Sur y comenzando un crecimiento sostenido desde el año 1992 (FIA, 2002). Entre los años 2000 y 2010 la superficie plantada de arándanos se incrementó en casi 10 veces. La producción por su parte ha registrado un incremento aun mayor, siendo hoy nuestro país el mayor exportador a nivel mundial de arándanos con 12.500 ha plantadas (ODEPA, 2012; CHILEAN BLUEBERRY COMITEE, 2012)

El año 2011, las exportaciones de arándanos Chilenos ascendieron a 429 millones de dólares FOB, representando el 10% del total de las exportaciones frutícolas (BANCO CENTRAL, 2012). EEUU es el mayor consumidor y productor de arándano de mundo (CENTRO DE COMPETITIVIDAD DEL MAULE, 2010). El consumo per cápita de arándanos frescos en EEUU ha ido en aumento durante las 3 últimas décadas, así como también la importación y Chile es el principal abastecedor de este mercado (ODEPA, 2011). En el mercado europeo y en términos de abastecimiento de arándanos frescos, Chile se encuentra sobre otros países del hemisferio Sur como: Argentina, Uruguay y Sudáfrica (ODEPA, 2012b).

La mayor producción de arándanos en Chile se encuentra en la zona sur del país (CHILEAN BLUEBERRY COMITEE, 2012) donde existe dominio de agroecosistemas con suelos únicos y particulares con respecto a otros en el mundo. La superficie arable total del país corresponde en un 55% a estos suelos que son derivados de cenizas volcánicas, los que tienen características propias comparados a otros suelos: una baja CICE, un alto contenido de C orgánico, una alta capacidad de retención de P, una baja densidad aparente (inferior a 0,90 g/cm³) y por ende una alta porosidad, una ligera acidificación principalmente en el horizonte superficial, que se incrementa en la medida que el agroecosistema tiene un mayor balance positivo de la pluviosidad con respecto

a la evapotranspiración durante el año. (TOSSO, 1985; SADZAWKA *et al.*, 2006; ZUNINO *et al.*, 1982).

El cultivo del arándano en la zona sur, encontró un nicho fácil en los suelos ya que poseía muchas de las características deseables para el cultivo. Esto es un sustrato ácido y una alta porosidad del suelo (HART *et al.*, 2006; FUQUA *et al.*, 2005). Sin embargo, se han detectado diversas limitaciones en la producción, posiblemente asociadas a problemas nutricionales los huertos como lo avala un estudio de la Universidad Austral de Chile. E en este estudio, en más de 100 huertos de arándanos de la zona Sur que reveló deficiencias nutricionales en la mayoría de los huertos. Encontrándose niveles normales de fósforo foliar en solo en 36% de los casos y de nitrógeno foliar en solo un 20%, entre otros elementos (PINOCHET y MAC DONALD, 2008).

Según TISDALE *et al.* (1993) y WESTWOOD (1982) el N es el nutriente que más frecuentemente se encuentra deficiente en los cultivos. Por lo tanto, la mayoría de los cultivos necesitan de fertilización nitrogenada para su óptimo desarrollo. Las plantas absorben el N como amonio (NH_4^+) o como nitrato (NO_3^-) (TISDALE *et al.*, 1993; WESTWOOD, 1982; SILVA y RODRIGUEZ, 1995). Sin embargo, el arándano difiere de la mayoría de las especies cultivadas en que la forma amónica es absorbida en forma preferencial sobre nitrato, esto debido a que posee una limitada actividad la enzima nitrato reductasa (HANSON, 2006).

En la planta, los compuestos N son el mayor componente orgánico de los extractos del xilema y el segundo lugar en el floema (SILVA y RODRIGUEZ, 1995). El suministro de sustrato de carbono (glucosa) es crítico para la asimilación del amonio (Givan, 1979, citado por SILVA y RODRIGUEZ, 1995) por lo tanto, las plantas absorben mas N en zonas de alta luminosidad que cuando disponen de menos luz (WESTWOOD, 1982). En estas citas se sostiene que en frutales los fertilizantes nitrogenados aumentan frecuentemente la iniciación floral y el desarrollo de las flores. A esto Williens, 1979, citado por WESTWOOD (1982) observó que aplicaciones de nitrógeno a fines de verano producen flores más fuertes en la primavera siguiente, atribuyendo el mayor cuajado obtenido a sacos embrionarios mas longevos.

La deficiencia de N en frutales hace que la producción sea menor, tanto en el menor cuajado de frutos, como en el menor tamaño de éstos (BALDINI, 1992). En plantas de vid Woodham y Bergman (1970), citados por GIL (2000) mostraron que la falta de N es más severa que la de cualquier otro elemento en el crecimiento. La deficiencia de N en las plantas de arándano se traduce en un lento crecimiento acompañado de una clorosis general. Los síntomas se presentan primero en hojas jóvenes, para posteriormente abarcar toda la planta (FUQUA *et al.*, 2005).

MAHLAER y BARNEY (2000) afirman que el arándano tiene un gran requerimiento de nitrógeno en comparación con otros berries. Pero, según TOWNSEND (1973), el arándano tiene un menor requerimiento de N en comparación con otros cultivos, siendo, según Ballinger (1966), citado por TOWNSEND (1973), extremadamente sensible a altas dosis de fertilizante. BRYLA *et al.* (2008) en un estudio en arándanos determinó que la fertilización granular de N incrementa la salinidad en el suelo y que con dosis de N de 100-150 kg/ha se determinó toxicidad en las plantas. BAÑADOS *et al.* (2012) mostraron que no solo la toxicidad por salinidad se incrementa con plantas altamente fertilizadas sino que también las pérdidas de N del suelo, haciendo la fertilización menos eficiente.

BALDINI (1992) y WESTWOOD (1982) sostienen que el exceso de N en los frutales retrasa la maduración, reduce la absorción de potasio y puede ser menor la fructificación por la competencia nutricional producto de un mayor crecimiento de brotes condicionado por exceso de N. SMOLARZ *et al.* (1989) efectuaron un estudio con distintas dosis de nitrógeno en una variedad semitardía de arándano y determinaron que las plantas más débiles fueron las que no se les aplicó nitrógeno fertilizante. Por su parte, tras un invierno severo las plantas con las dosis más altas de N resultaron las más dañadas. Al contrario, las menos dañadas fueron las del tratamiento sin aplicación. Lo anterior concuerda con FUQUA *et al.* (2005) quienes señalan que el exceso de nitrógeno aumenta la probabilidad de ataque de enfermedades fungosas y otras infecciones. Además, a medida que se incrementa la dosis de N, las plantas obtienen más porcentaje de su requerimiento del N proveniente del fertilizante que de otras fuentes como el N mineralizado, reservas de la planta y N remanente de aplicaciones anteriores (BAÑADOS *et al.*, 2012)

Ballinger *et al.* (1963) citado por TOWNSEND (1973) mostraron que incrementando dosis de N en arándanos se incrementó el vigor, rendimiento y N foliar, lo que sería hasta un cierto grado, antes de mostrar efectos por toxicidad. Por su parte SMOLARZ *et al.* (1989) mostraron que un incremento en la dosis de nitrógeno sobre 100 kg N/ha redujo el rendimiento, estableciendo como dosis óptima en su estudio 50-100 kg N/ha, que fue la dosis con la cual obtuvieron los máximos rendimientos. Adicionalmente, BAÑADOS *et al.* (2012) han mostrado que plantas de dos años postplantación y sometidas a tratamientos de fertilización N presentaron mayor crecimiento, rendimiento y mayor porcentaje de recuperación de N del fertilizante en el suelo con 50 kg N/ha que plantas con 100 y 150 kg N/ha.

Los análisis rutinarios de suelo y foliar son útiles para determinar requerimientos nutricionales y planes de fertilización (HART *et al.*, 2006). La interpretación del análisis foliar es útil para el mediano plazo (siguiente temporada), en contraste el análisis de suelo es útil para la actual temporada (HART *et al.*, 2008; HIRZEL y RODRIGUEZ, 2003).

Para realizar un buen programa de fertilización es necesario complementar ambos análisis: foliar y suelo (HART *et al.*, 2008; FUQUA *et al.*, 2005; KREWER y NESMITH, 1999). El muestreo foliar debe realizarse cuando la concentración de nutriente se hace estable (fines de enero y mediados de febrero) en el cultivo de arándano (HART *et al.*, 2006). En Chile, HIRZEL y RODRIGUEZ (2003) señalan que el muestreo foliar debe realizarse durante la primera semana de cosecha. Siendo el rango de concentración normal 1,8 a 2,1% de N según (SPECTRUM ANALYTIC, 2006). Sin embargo, según FUQUA *et al.*, (2005), la muestra foliar debe ser tomada en el final de la temporada de cosecha, estableciendo un mayor rango de suficiencia (1,5 a 2,1% de N).

WESTWOOD (1982) sostiene que en frutales hay 3 factores que influyen el nivel de nutrientes en las hojas: Disponibilidad del nutriente, interacciones iónicas y fluctuaciones estacionales. Referido a esto Bailey *et al.* (1966), citado por CLARK (1999) y Bishop *et al.* (1971), citado por TOWNSEND (1973), afirman que incrementando las dosis de fertilizante nitrogenado se incrementa el contenido de N en las hojas de arándano.

GIL (2000) y HART *et al.* (2006) sostienen que el requerimiento interno de nitrógeno en arándanos varía dentro de la temporada productiva, siendo mayor al principio de la temporada, volviéndose relativamente estable desde mitad de julio (en el hemisferio norte). En general, cerca del 50% del N de las hojas se moviliza antes de la caída, sin embargo el grado de movilización puede ser variable entre un 40 y un 70% (SILVA y RODRIGUEZ 1995) ya que la movilización estaría influenciada por la carga del árbol, riego, fertilización de postcosecha, condiciones ecológicas del periodo de postcosecha, entre otros, como lo evidenció Eck (1977), citado por CLARK (1999), quien mostró que el N foliar se reducía en años con alta carga frutal y que en años de poco rendimiento ocurría lo contrario.

En vista de la importante participación a nivel mundial que posee nuestro país en la producción de arándanos y que sin embargo existen aspectos nutricionales limitantes para alcanzar el potencial productivo del cultivo en esta zona, como lo es la fertilización nitrogenada, el siguiente estudio ha fijado como objetivo general relacionar los niveles de nitrógeno mineral en el suelo y la dosis de fertilización N con el rendimiento de fruto, en el análisis foliar y la respuesta vegetativa de los brotes anuales en dos variedades de arándano en suelos volcánicos del sur de Chile. Para lo cual se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la variación N mineral en el suelo a dos profundidades durante la temporada y en relación a diferentes dosis de fertilización N.
- Establecer rangos críticos de deficiencia y exceso de nitrógeno mineral sobre el rendimiento de la temporada.
- Determinar los cambios en el crecimiento vegetativo del arándano producido por distintos niveles de disponibilidad de nitrógeno mineral en el suelo.
- Evaluar la variación en la concentración de nitrógeno en el tejido foliar frente a diferentes dosis de N y a través de la temporada.

2 MATERIAL Y METODO

2.1 Sitios, diseño experimental y tratamientos

En la temporada productiva 2009/2010 en 6 huertos de arándano (*Vaccinium corymbosum L*) de la región de los Ríos se desarrolló el estudio nutricional en dos variedades de arándano: Elliott y Briggita en dos edades productivas: plena producción (7-9 años) y rendimientos crecientes (4-5 años) para lo cual se seleccionaron 6 huertos: Huerto 1a, Huerto 1b, huerto 2, huerto 3, huerto 4 y huerto 5 (Cuadro 1).

CUADRO 1 Antecedentes generales de los 6 huertos seleccionados para el estudio.

Huerto	variedad	edad (años)	Ubicación	Densidad (pl/ha)	Serie de suelo	Agroclima
1a	Elliott	>7	San José	4.444	Pelchuquin	Mariquina
1b	Briggita	>7	San José	4.444	Pelchuquin	Mariquina
2	Elliott	4 a 7	Río Bueno	3.306	Itropulli	Río Bueno
3	Elliott	>7	Pelchuquin	3.571	Pelchuquin	Mariquina
4	Briggita	4 a 7	Máfil	5.555	Pelchuquin	Mariquina
5	Elliott	>7	La Unión	4.762	Río Bueno	La Union

Las características principales de las series de suelo y los agroclimas donde se ubican los huertos en estudio se encuentran en los Cuadros 2 y 3.

CUADRO 2 Características edáficas principales de las series de suelos donde se encuentran los huertos en estudio.

Características	Serie		
	Pelchuquin	Río bueno	Itropulli
Origen	Volcánico	Volcánico	Volcánico
Textura	franco limoso	franco arcillo limoso	franco limoso
Profundidad	Buena	Moderada	Moderada
drenaje	Bueno	Moderado	Moderado
Topografía	Plana	Plana	Plana

FUENTE: adaptado de CIREN (2003)

CUADRO 3 Características climáticas principales de los agroclimas donde se encuentran los huertos en estudio.

Agroclima	precipitación anual (mm)	temperaturas medias (°C)		sumas termicas (grados día)*
		Mínima	máxima	
La Union	1267	6,02	17,9	2384
Río Bueno	1350	7	16,5	S.I.
Mariquina	1250	5,6	14,3	1850

*base 5°C
S.I. = sin información.

FUENTE: adaptado de NOVOA (1989); RODRIGUEZ (1989); SANTIBAÑEZ (2012)

Los tratamientos en este experimento fueron 5 y se relacionaron a diferentes niveles de disponibilidad de N mineral en suelo: 0 kg N/ha (0X), 60 kg N/ha (1X), 120 kg N/ha (2X), 180 kg N/ha (3X) y 240 kg N/ha (4X). Cada tratamiento consta de 3 repeticiones dispuestas en un diseño completamente al azar. Cada unidad experimental consta de 10 plantas, sumando un total de 150 plantas para cada uno de los huertos. Cada unidad experimental fue separada una de otra por 3 plantas, las cuales quedaron fuera de cualquier evaluación.

La fertilización se realizó en la forma de Urea (46% N) en tres parcialidades, entre los meses de noviembre a diciembre de 2009 (1/3 cada 20 días) y fue aplicada en cobertera bajo la línea del gotero. La fertilización de los otros elementos, se basó en el análisis inicial de cada sitio (Anexo 1) y fue aplicada en cobertera bajo la línea del gotero en octubre y noviembre de 2009. Todos los sitios de los ensayos fueron demarcados para ser cosechados de forma independiente y se usaron válvulas en las líneas de riego para permitir que sean regadas solo con agua y evitar el paso de fertilizante u otro producto a las plantas en estudio.

2.2 Toma de Muestras, mediciones y registros en terreno

Los muestreos tuvieron lugar en la temporada productiva 2009/2010 entre los meses de diciembre de 2009 a abril de 2010. Los parámetros medidos y determinados fueron: Nitrógeno mineral del suelo, largo de brotes del año, nitrógeno foliar y rendimiento total de la temporada. Las fechas en las que se midieron brotes y se llevaron a cabo los muestreos foliares y de suelo fueron similares (Anexo 2) en todos los huertos: mediados de diciembre (fecha 1), principios de enero (fecha 2), mediados de enero (fecha 3), mediados de febrero (fecha 4), mediados de marzo (fecha 5) y mediados de abril (fecha 6).

En cada unidad experimental y en cada fecha se obtuvieron dos muestras compuestas de suelo: de 0-20 cm y 20-40 cm de profundidad, dentro del camellón, usando un barreno agrológico corto para evaluar el suministro de N del suelo. Para evaluar la respuesta del crecimiento vegetativo a diferentes niveles de disponibilidad de nitrógeno mineral en el suelo se midió el largo de 5 brotes del año, en una planta marcada al azar en cada repetición, obteniendo un promedio por cada repetición. Las hojas fueron

colectadas del tercio medio de brotes del año (10 hojas por plantas, sumando un total de 100 hojas por cada repetición). Las cosechas se realizaron cuando se observó madurez uniforme de los frutos, por lo tanto, las fechas y cantidad de éstas quedaron en manos de los encargados de los huertos. Se llevaron registros del peso total de fruta producida por cada tratamiento, para obtener la cantidad de fruta producida por planta.

2.3 Análisis en laboratorio

Los análisis foliares y de suelo se llevaron a cabo en el laboratorio de Suelos y Aguas del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile. Se determinó el contenido de nitrógeno mineral en cada muestra de suelo usando el método de análisis de suelos descrito por SADZAWKA *et al.* (2006b). El contenido de nitrógeno total en las hojas se determinó por el método de análisis de tejidos vegetales descrito por SADZAWKA *et al.* (2007)

2.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de todas las variables evaluadas en a todos los tratamientos fueron ordenados y graficados usando el programa Microsoft Excel 2007 y posteriormente analizados a través de ANDEVA con el programa STATISTICA versión 7.0. Para verificar si existieron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos se realizó la prueba de TUKEY usando el mismo programa. Los ajustes de regresión lineal fueron realizados utilizando el programa GRAPHPAD versión 4,0.

3 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

3.1 Nitrógeno mineral en el suelo

3.1.1 Variación en la profundidad de muestreo de suelo. La Figura 1 muestra la relación entre la concentración de N mineral determinada en las muestras de los primeros 20 cm de suelo (0-20 cm) y el nitrógeno mineral en las muestras de los primeros 40 cm de profundidad (0-40 cm). Esta figura muestra además, la variación considerando todos los huertos evaluados y en las 6 fechas de muestreo (diciembre a abril), en el tratamiento sin aplicación de N.

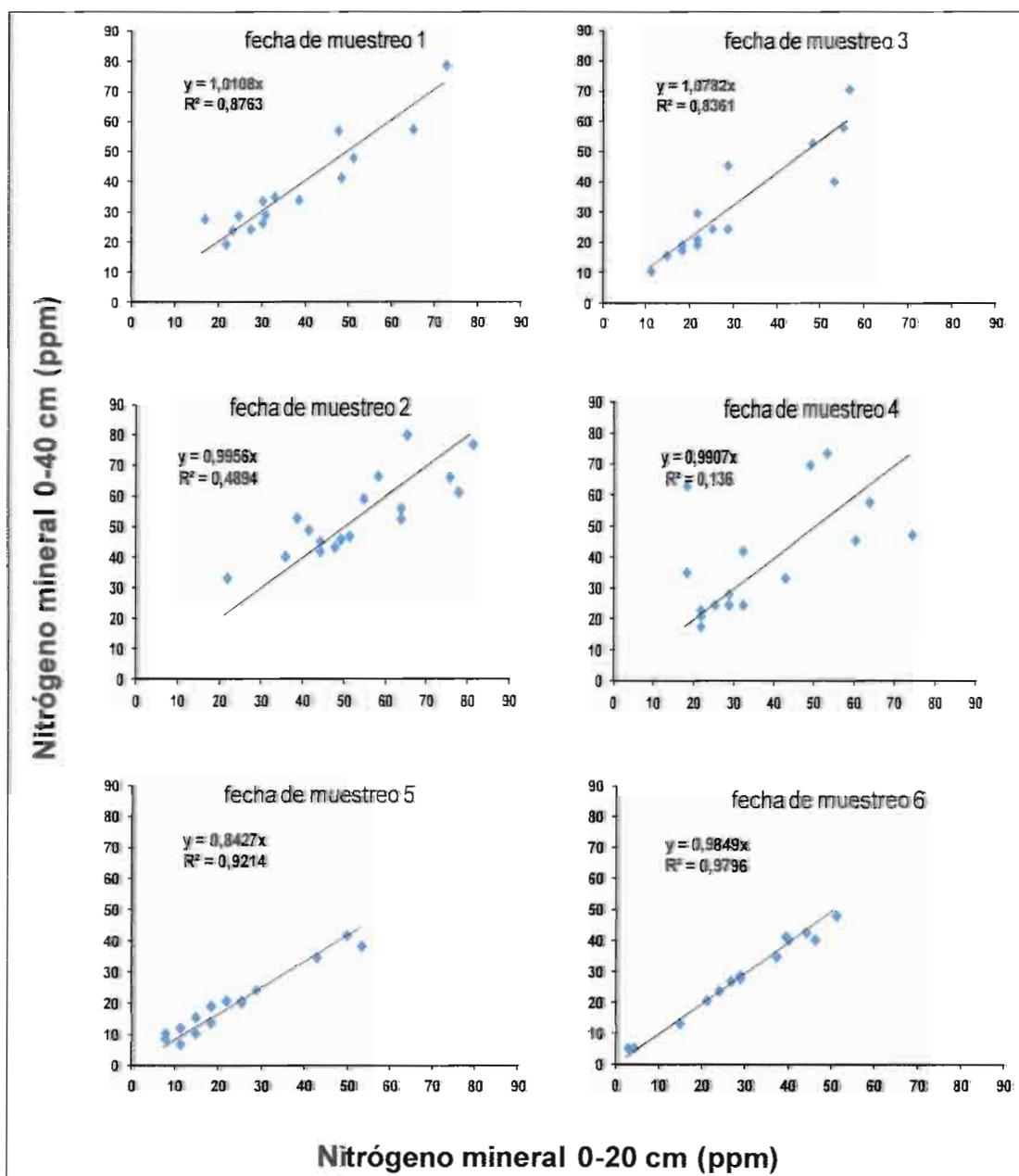


Figura 1. Relación entre el N mineral medido a 0-20 y 0-40 cm de profundidad de muestreo en todos los huertos evaluados para el tratamiento sin aplicación de N.

En todos los muestreos se observa que existe una correlación entre la concentración de N de 0-20 y 0-40 cm de profundidad. Además, esta correlación tiene una pendiente cercana a uno en casi todos los casos.

En el muestreo 5 y 6 (marzo y abril) se determinó el mejor ajuste entre los valores a las distintas profundidades ($R^2 > 0.921$) y en los muestreos 2 y 4 (enero y febrero) el menor ajuste, tal como lo muestra su menor coeficiente de determinación. Por su parte los muestreos 1 y 3 muestran un relativo buen ajuste. Este distinto comportamiento a través del tiempo, sugiere que los muestreos cuando el suelo está probablemente más húmedo (marzo, abril y diciembre), mostraron las mejores correlaciones. De esta forma, es posible que la humedad existente haya producido homogeneización del N en el perfil. Así, el N mineralizado en el suelo, se distribuye en todo el perfil. Sin embargo, a pesar de que en el caso de los muestreos 2 y 4, sus coeficientes de determinación son bajos, muestran la misma tendencia que los valores anteriores y posteriores de una relación cercana a 1 entre los valores medidos 0-20 y 0-40 cm de profundidad, lo que permite suponer que esta relación puede ser una tendencia general.

La Figura 2 agrupa todos los datos de la Figura 1 en un solo gráfico. Trazando una línea de tendencia ajustada para partir en el punto 0,0. La línea representa el modelo ajustado y los puntos los datos medidos. Los estadígrafos de la relación se muestran en el cuadro 4.

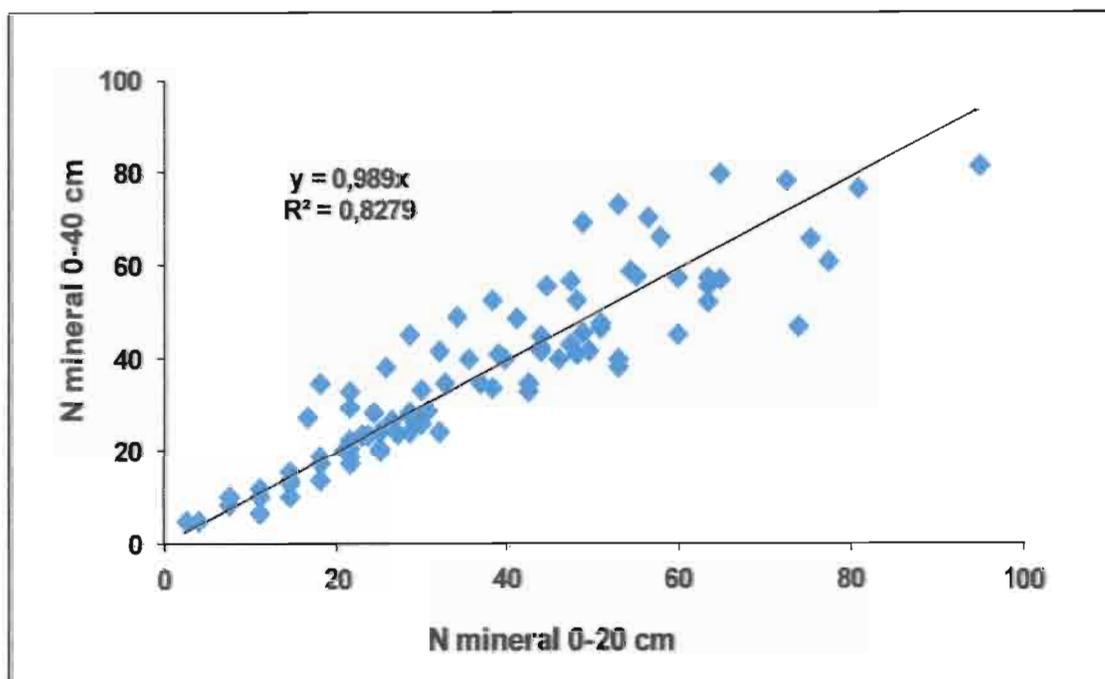


FIGURA 2 relaciones entre nitrógeno mineral medido a 20 y a 40 cm de profundidad de los tratamientos sin aplicación.

La pendiente en este caso es muy cercana a 1,0 con un R^2 de 0,82. Es decir, que la concentración de N mineral obtenida en todos los muestreos de suelo a diferentes profundidades y a diferentes fechas en todos los huertos sigue el mismo comportamiento, observado en cada uno de los muestreos.

En el Cuadro 4 se entregan los estadígrafos de la relación, mostrada en la Figura 2.

CUADRO 4 estadígrafos de la **Figura 2**, separados en una línea ajustada con intercepto en 0 y una línea automática con el mejor valor de R^2 .

curva de regresión lineal		
	Ajustada a intercepto 0	Automática
Intercepto	0,0	4,28
Pendiente	0,989	0,895
Intervalo de la pendiente	0.95 a 1.03*	0.82 a 0.98*
R²	0,8237	0,8355
Error estándar	8,0	7,8
* 95% de confianza		

El ajuste a un valor 0 en el intercepto, permite que toda la variación de la curva ajustada quede en el parámetro b (la pendiente) de la ecuación lineal. De esta forma, permite visualizar la relación en forma más directa. Al ajustar la curva a un intercepto de valor 0, solo se produjo un ligero cambio en el valor del coeficiente de determinación (R^2 , disminuyendo un 0,6%), siguiendo en un valor alto. El intervalo de la pendiente se mantiene cercano al valor 1,0, variando ligeramente. Por su parte, el error estándar, que representa una medida de la significancia de las predicciones es de 8,0 ppm, que para el rango evaluado es un valor bajo.

Podemos decir que midiendo de 0-20 cm de profundidad, es posible estimar la cantidad de N mineral presente disponible de 0-40 cm para el cultivo de arándano en suelos volcánicos de la región de los Ríos y de los Lagos. Sin embargo las fechas menos recomendables, de acuerdo a estos datos, sería mediados de enero a fines de febrero, en los cuales la variación entre datos medidos y predichos es muy alta. Esto

fue atribuido, inicialmente, a los problemas de humedad de suelo que usualmente se presentan en esta época.

3.1.2 Variación en el tiempo. La Figura 3 muestra la variación estacional del nitrógeno en los tratamientos sin aplicación (0 kg/ha) expresado en partes por millón de nitrógeno mineral en el suelo a 40 cm de profundidad desde mediados de diciembre de 2009 (fecha 1) a mediados de abril de 2010 (fecha 6) en los diferentes huertos.

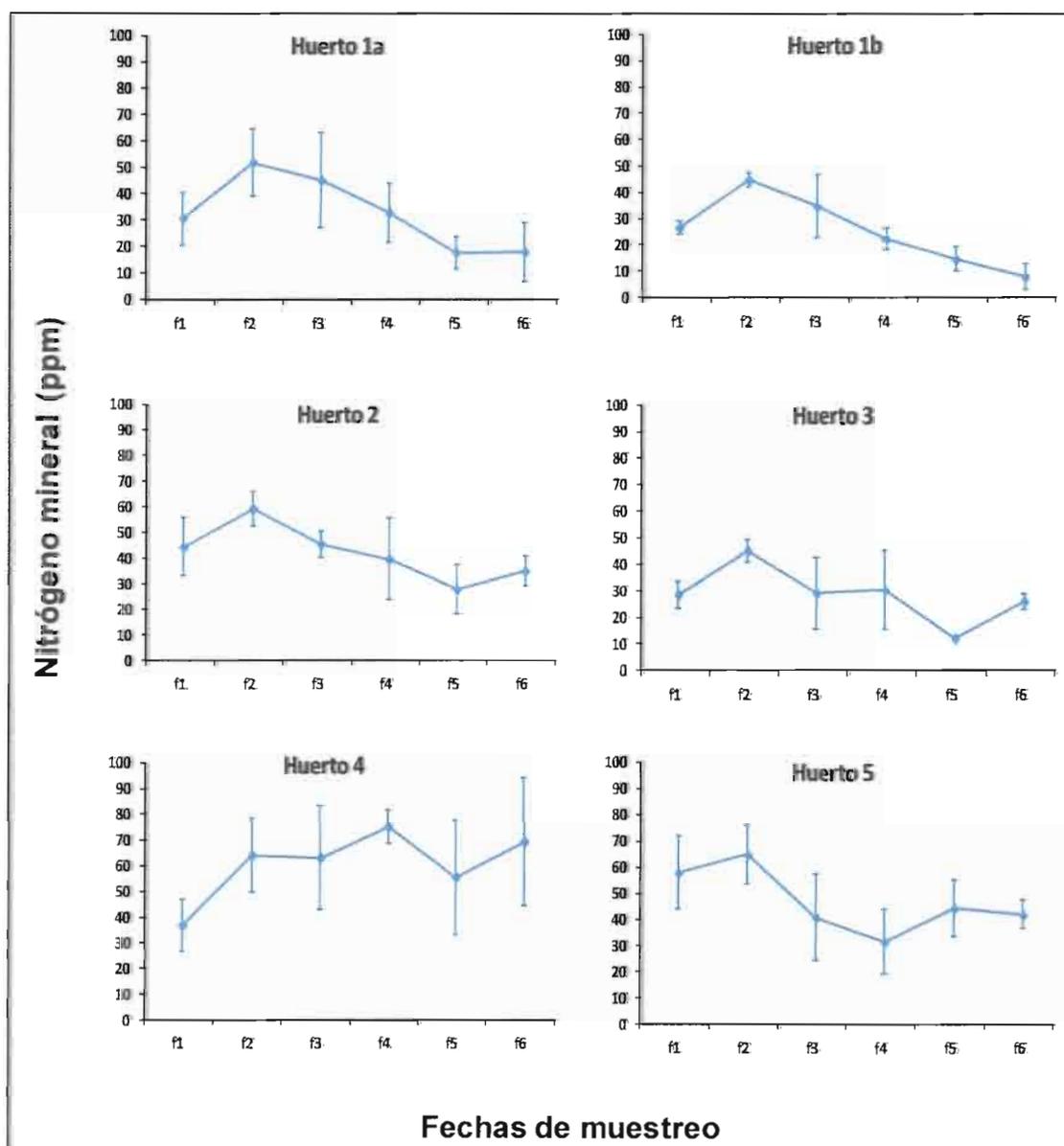


FIGURA 3 Variación del nitrógeno mineral de los tratamientos sin aplicación desde mediados de diciembre de 2009 a mediados de abril de 2010 (por huerto, expresado en partes por millón a 0-40 cm de profundidad)

La tendencia en la mayoría de los casos (5 huertos) fue a disminuir la cantidad de nitrógeno mineral a medida que transcurre la temporada, excepto en el huerto 4. Esta tendencia muestra que existió mineralización neta en las primeras fechas de muestreo

y que en la mayoría de los casos esta disminuye hacia febrero (fecha 3: principios de febrero) mostrando que la humedad del suelo fue restrictiva para la mineralización y posteriormente al comenzar las lluvias en marzo y abril o sea en las ultimas fechas, se va perdiendo el N mineral del suelo. Solo en el caso del huerto 4, se mantuvo la mineralización en los meses de marzo y abril con un incremento del N mineral.

3.1.3 Respuesta a las dosis. La relación entre dosis aplicada en kg/ha y nitrógeno mineral del suelo (a 40 cm) se muestra en la Figura 4, las cifras están expresadas como el promedio del nitrógeno de la temporada entre mediados de diciembre de 2009 a mediados de abril de 2010, todos los datos en detalle se encuentran en el Anexo 3.

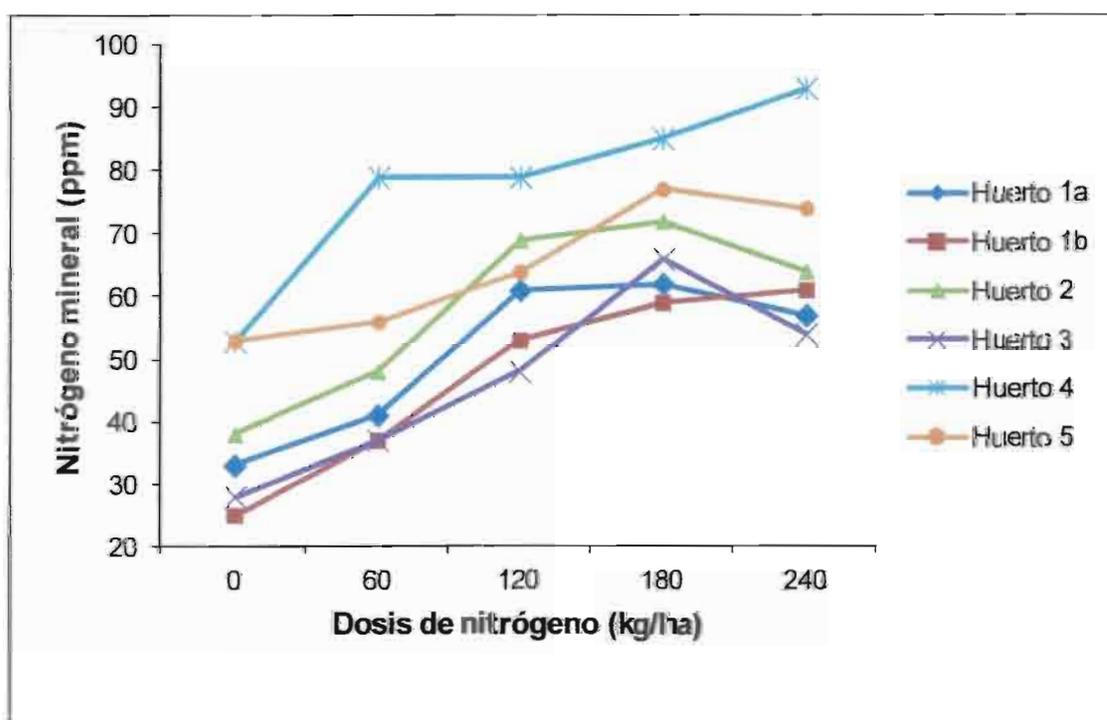


FIGURA 4. Datos promedios de N mineral de todo el período de evaluación (diciembre a abril) en función de la dosis de N aplicada, por huerto evaluado.

En general, se observa que existe una relación positiva entre el incremento de dosis de N y el contenido de N mineral del suelo. Se muestra una tendencia de relación lineal hasta la dosis de 180 kg N/ha, y en algunos casos para la dosis de 240 kg N/ha se

determinó una disminución del N aplicado en 4 huertos, lo que no es fácil de explicar. Es posible que se haya sobrepasado la capacidad de retención de N mineral por inmovilización del N en el suelo o en la materia orgánica y, en este caso, hayan aumentado las pérdidas de N desde el suelo al mantenerse la mayor parte como N mineral.

Otra explicación a esto podría sustentarse en la experiencia de WEISHOU *et al.* (2010) que estudiaron los efectos en el suelo de las dosis altas de nitrógeno y mostraron que al incrementar la dosis de nitrógeno (hasta 300 kg/ha aproximadamente), se reduce la actividad enzimática, diversidad microbiana y nitrificación de una forma significativa, lo que podría afectar negativamente la transformación del nitrógeno aplicado al suelo como urea en nitrógeno mineral.

Los huertos que presentaron menor contenido de nitrógeno mineral durante la temporada fueron el huerto 1b y el huerto 3. Por su parte el de mayor contenido fue el huerto 4, que durante toda la temporada se mantuvo con el doble de nitrógeno mineral en relación a los huertos 1b y 3.

Casi la totalidad de los tratamientos de los huertos se encuentran por sobre los 30 ppm de nitrógeno mineral medido a una profundidad de 40 cm, lo que es considerado un nivel alto.

3.2 Efecto de la dosis de N sobre el rendimiento de la temporada

La Figura 5 muestra los rendimientos de fruta a través de las cosechas y las fechas de cosecha en cada huerto evaluado. Se designó arbitrariamente como referencia de fecha de partida el 1 de enero de 2010 y se muestran los rendimientos en kg/planta.

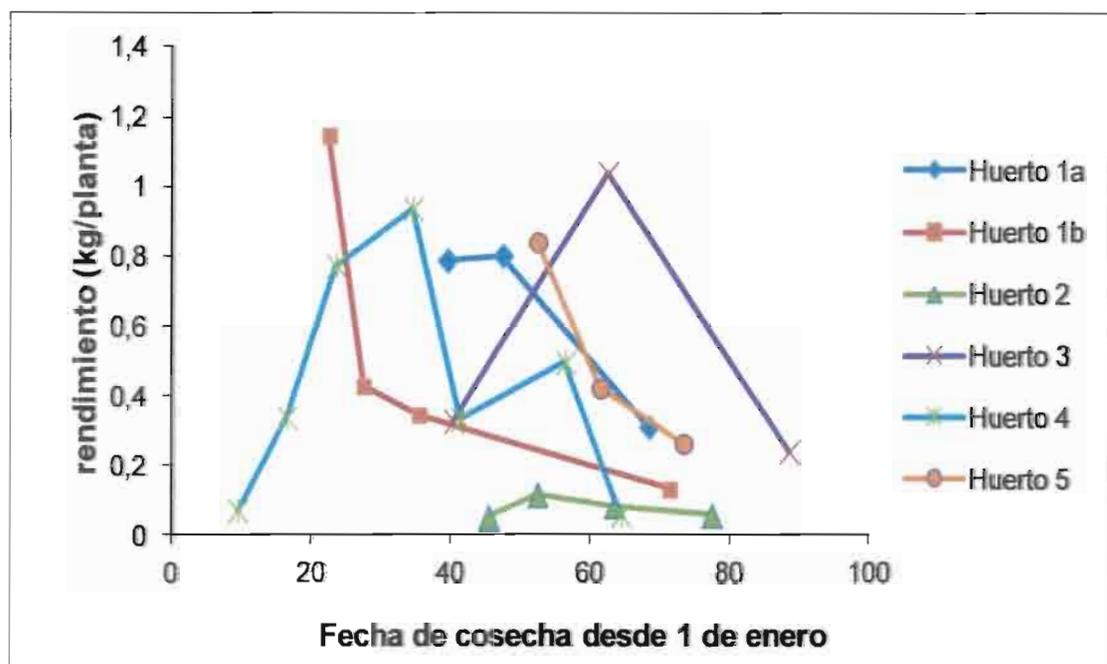


FIGURA 5 rendimientos promedio por huerto (expresados en kilos de fruta por planta) obtenidos en cada cosecha y cantidad de cosechas en cada huerto desde el 1 de enero de 2010.

Como era esperado, los dos huertos con la variedad Briggita comenzaron su cosecha antes que la variedad Elliot. La duración de la temporada productiva para las dos variedades se extendió por cerca de 80 días siendo cosechados los huertos de Elliot, en las últimas colectas. La cantidad de fruta colectada varió entre 3 a 4 veces en magnitud de acuerdo a la fecha de colecta para un mismo huerto. Se observaron dos comportamientos diferentes en los huertos con respecto a la cantidad de fruta colectada: En tres de ellos, la primera colecta fue la en la cual se cosechó la mayor proporción de la fruta de la temporada y en los otros 3 casos fue en la segunda a cuarta cosecha. Esto se debió a la estrategia del huerto, dependiendo de la época en que requieren la fruta para exportación y a la demora en madurar observada durante este año. Datos mostrados por ESPINDOLA (2003) señalan que el periodo de cosecha para la variedad semitardía Briggita, en la zona sur de Chile, está entre diciembre a enero y la variedad tardía Elliott comienza a ser cosechada en enero, prolongándose incluso hasta abril. Para nuestro estudio, las cosechas fueron más tardías que lo

indicado por este autor, aunque para Briggita el punto de mayor colección fue hacia fines de enero, pero se extendió hasta marzo y coincide en que la variedad Elliott se extiende en su cosecha hasta abril.

En la Figura 6 se muestran los rendimientos relativos, de cada huerto evaluado, en función del valor promedio del nitrógeno mineral del suelo (de 0-40 cm profundidad) presente entre mediados de diciembre de 2009 hacia mediados de febrero de 2010. El rendimiento corresponde al valor total durante la temporada que obtuvo cada tratamiento, expresado en términos relativos al tratamiento que obtuvo el máximo rendimiento. Los rendimientos están detallados en el Anexo 4. Los niveles de N mineral corresponden al promedio de los 4 primeros muestreos de suelo, excluyendo los últimos dos muestreos, ya que se consideró que el N mineral presente en ellos no influye en la producción de la fruta de esa temporada.

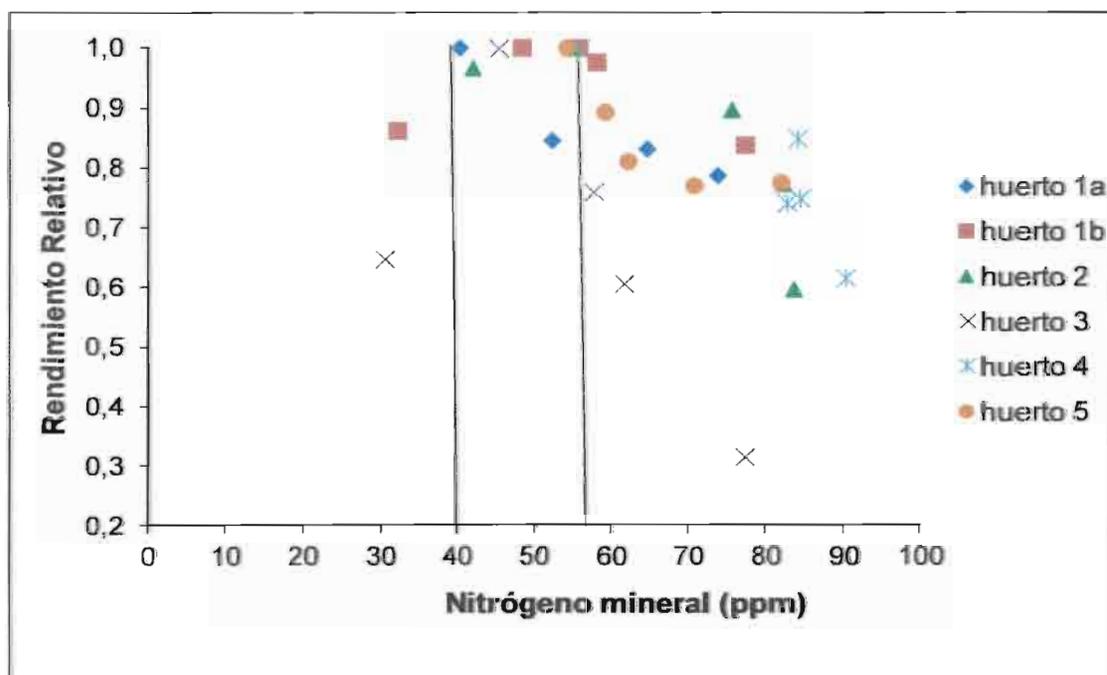


FIGURA 6 Relación entre nitrógeno mineral de cada tratamiento (a 40 cm) medido entre mediados de diciembre de 2009 a mediados de febrero de 2010, y rendimiento total de la temporada expresado en términos relativos al rendimiento máximo de cada huerto.

En todos los casos se observa que el máximo rendimiento se obtuvo con un promedio entre 40 y 55 ppm de nitrógeno mineral en el suelo. Sobre este nivel los rendimientos comienzan a disminuir, mostrando que el nitrógeno por sobre este nivel promedio en el suelo produce un efecto tóxico sobre la planta.

Se muestra en dos huertos (huerto 1b y huerto 3) que con niveles del orden de 30 ppm de nitrógeno mineral en el suelo los rendimientos fueron inferiores al máximo, lo cual permite suponer que estos niveles pudiesen haber sido deficientes, aunque con solo dos puntos no se puede concluir al respecto. Dado que en los huertos evaluados se encontraron muy pocas evidencias de valores inferiores a 40 ppm de N mineral, en general, se observa en todos los huertos una tendencia de disminución en el rendimiento de la temporada a medida que se incrementan en nivel de N del suelo. Esto permite sugerir que el nivel considerado óptimo máximo en los huertos debería estar entre 40 y 55 ppm, para los resultados de la temporada.

El Cuadro 5 muestra los rendimientos máximos de cada huerto, expresados en kilos por planta y toneladas por hectárea, además muestra el promedio de nitrógeno que se mantuvo para estos rendimientos durante las primeras 4 fechas de muestreo medido de 0-40 cm.

CUADRO 5 rendimientos de los tratamientos que obtuvieron el máximo valor y contenido de N mineral promedio de la temporada expresado en ppm medido a 40 cm de profundidad.

Huerto	Máximo rendimiento		Nitrógeno mineral
	kg/planta	ton/ha	(ppm)
1a	2,1 ± 0,3	9,3	40 ± 6
1b	2,2 ± 0,04	9,7	48 ± 12
2	0,4 ± 0,2	1,5	55 ± 6
3	2,4 ± 1,03	8,5	45 ± 4
4	3,8 ± 0,46	21,1	55 ± 11
5	1,8 ± 0,42	8,5	54 ± 7

El máximo rendimiento del huerto 2 resultó muy bajo (1,5 ton/ha), lo que se debió a un manejo retrasado de las plantas y que no se puede atribuir a deficiencia de N, en contraste tenemos al huerto 4, con un rendimiento sobre las 21 ton/ha (con el mismo nivel de N mineral). El resto de los huertos, en general, tienen un rendimiento cercano a 10 ton/ha lo cual es un rendimiento normal para un huerto bien manejado según datos mostrados por ESPINDOLA (2003).

3.3 Efecto de la dosis de N sobre el crecimiento vegetativo

La Figura 7 muestra el crecimiento de brotes a través de la temporada para todos los tratamientos y todos los huertos. Los brotes fueron medidos desde mediados de diciembre a mediados de abril y fueron expresados en valores relativos al largo registrado en diciembre (los datos expresados en cm se encuentran en el anexo 5).

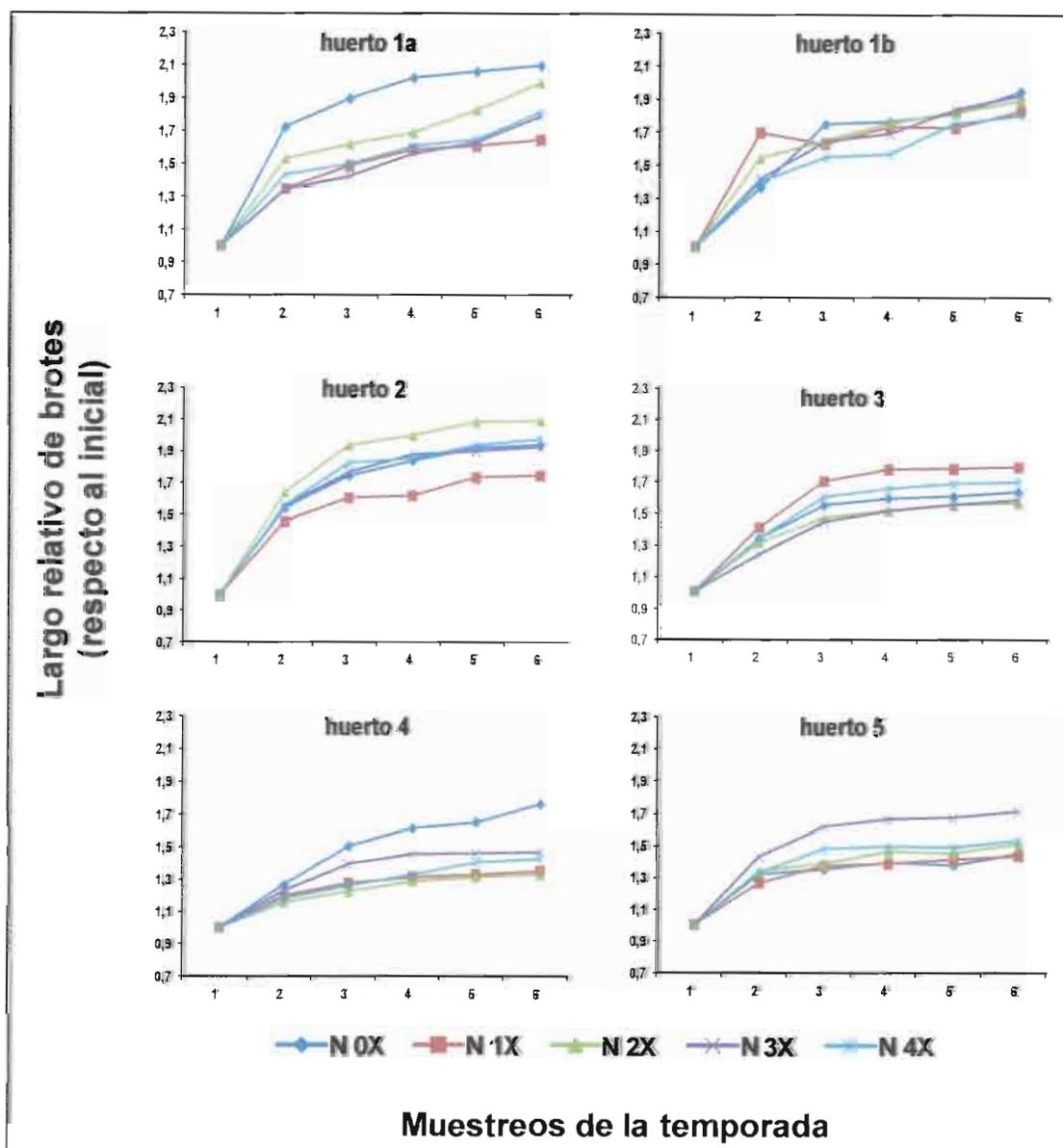


FIGURA 7 Crecimiento durante la temporada (diciembre a abril) de los brotes, en relación al largo registrado en diciembre para los diferentes huertos.

Los datos fueron expresados en términos relativos porque las diferencias entre los tratamientos se acentúan más que siendo expresados en centímetros, como fue medido. A pesar de eso, no se observaron diferencias entre tratamientos que fueran generales para todos los huertos. Solo se observan diferencias en el crecimiento relativo de brotes entre huertos, donde los huertos 1a, 1b y 2 tuvieron una mayor tasa

de crecimiento (en todos los tratamientos los brotes crecieron entre 1,5 y 2,3 veces en la temporada). No ocurrió así con los huertos 3, 4 y 5 que crecieron entre 1,2 a 1,7 veces en la temporada.

El Cuadro 6 muestra el resumen comparativo de los largos de brotes (en cm) en dos épocas: a comienzo de temporada (diciembre) y a fin de temporada (abril). En los 5 tratamientos y los 6 huertos evaluados. En este cuadro se muestran las diferencias significativas en los largos absolutos de los brotes entre tratamientos y entre huertos. No se comparó entre épocas.

CUADRO 6 resumen de los largos de brotes (cm) medidos en diciembre y abril en los diferentes tratamientos para los 6 huertos.

Huerto	Largo de brotes (cm) a comienzo de temporada (diciembre) por tratamiento					Promedio huertos
	0x	1x	2x	3x	4x	
1a	27 bc	32 b	25 c	29 bc	30 bc	29
1b	32 ab	29 ab	36 ab	33 ab	36 ab	32
2	17 c	17 c	18 c	15 c	18 c	17
3	42 a	32 b	40 a	44 a	38 a	39
4	23 bc	25 bc	24 bc	24 bc	22 bc	24
5	26 bc	28 bc	28 bc	27 bc	23 bc	26
Largo de brotes (cm) a fin de temporada (abril) por tratamiento						
Huerto	0x	1x	2x	3x	4x	
1a	56 ab	53 ab	50 ab	51 ab	55 ab	53
1b	63 ab	54 ab	68 ab	64 ab	53 ab	60
2	32 b	30 b	37 b	29 b	35 b	33
3	69 a	57 a	62 a	69 a	65 a	64
4	41 ab	34 ab	32 ab	36 ab	31 ab	35
5	38 ab	41 ab	42 ab	46 ab	35 ab	40

No existieron diferencias estadísticas entre tratamientos, en los largos de los brotes medidos a mediados de diciembre y tampoco a mediados de abril, para ningún tratamiento de fertilización N por huerto. Sin embargo, hubo diferencias entre los huertos evaluados, en ambas épocas. El largo inicial promedio varió entre 17 y 39 cm, en tanto el largo final promedio varió entre 33 y 64 cm entre huertos. Los resultados encontrados en nuestro estudio, muestran que el largo final de brotes se encuentra entre brotes largos (30 a 50 cm) y brotes extra largos (>50 cm) según BAÑADOS (2005) Quien mostró que la cantidad de yemas totales aumenta con brotes extra largos así como el número de yemas florales también se incrementa con estos brotes. Sin embargo el % de yemas florales se ve disminuido según este autor, lo que indica que la calidad de las yemas en los brotes extra largos sería menor que brotes más pequeños.

El hecho de que no haya diferencias debidas a los niveles de nitrógeno mineral del suelo, sugiere que las diferencias detectadas entre huertos pueden ser producto del distinto manejo agronómico de cada huerto. Estos corresponden principalmente a poda, densidad de plantación y además de calidad de manejo del riego (FUQUA *et al.*, 2005)

Dado que se detectó un crecimiento de los brotes a través de la temporada y que esta no obedeció a los tratamientos de N, es decir, no hubo diferencia estadística entre tratamientos de N en el largo inicial ni en el largo final de brotes para un mismo huerto, se consideró útil evaluar la relación entre la concentración de nitrógeno mineral del suelo presente de diciembre a febrero y el crecimiento porcentual de de los brotes en la temporada (diciembre a abril) como lo muestra la figura 8.

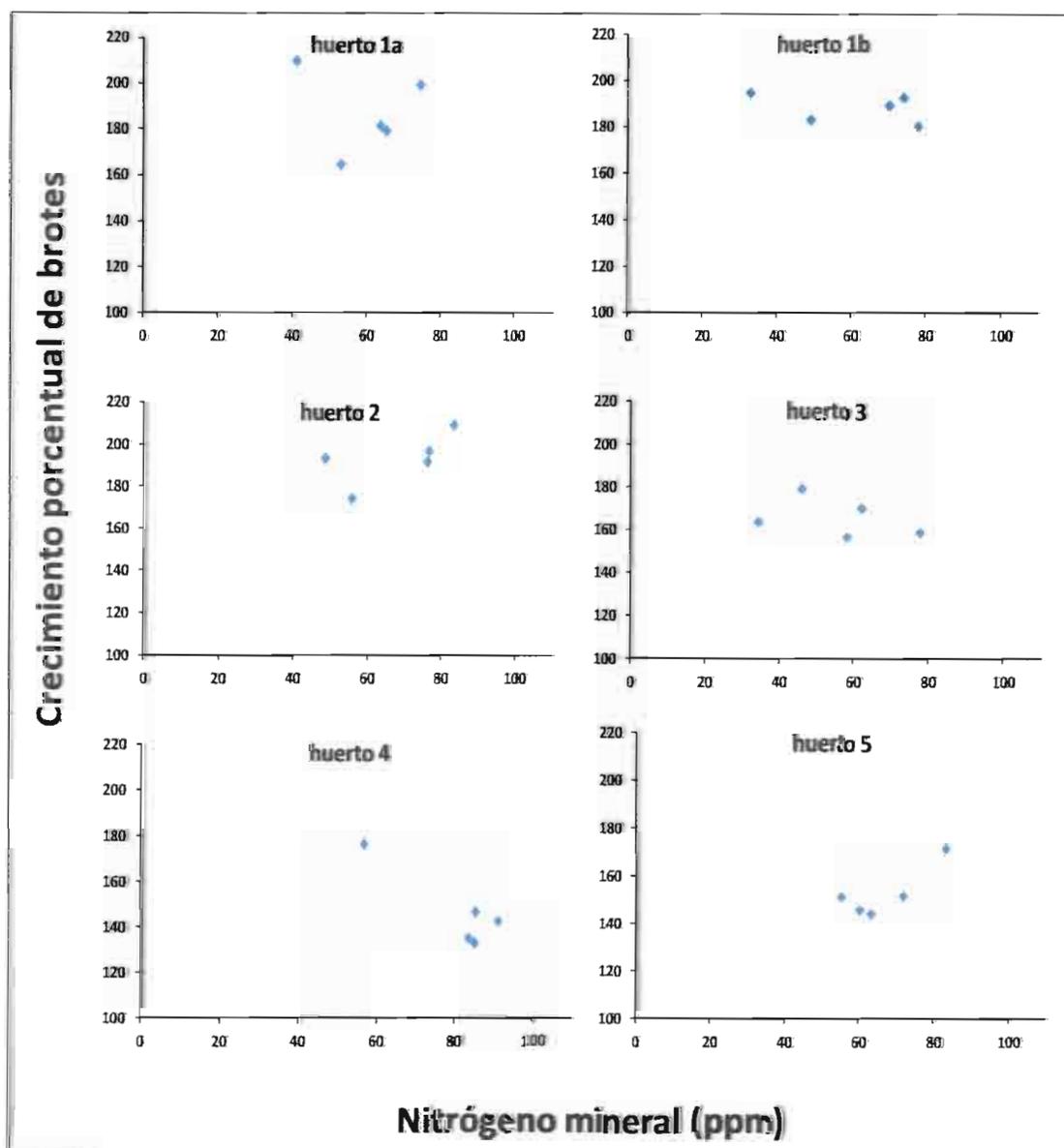


FIGURA 8 Relación entre el nitrógeno mineral del suelo presente de diciembre a febrero y el crecimiento porcentual de brotes en la temporada para todos los tratamientos en los diferentes huertos.

El crecimiento final de los brotes en relación al nivel de nitrógeno mineral mostró diferentes respuestas entre huertos, ya que en el huerto 1b y 3 se mantuvo estable con distintos niveles de N mineral en el suelo y en los huertos 1a, 2, 4 y 5, el crecimiento porcentual de brotes en la temporada aparentemente fue afectado por el nivel de

nitrógeno mineral. Pero, en general, no hubo una relación clara entre nitrógeno mineral del suelo y el crecimiento final de los brotes.

Con estos datos no podemos concluir que no existe influencia del nivel de nitrógeno mineral en el crecimiento vegetativo del arándano, ya que BAÑADOS *et al.* (2006) desarrollaron un estudio en otra variedad de arándano con variables similares y mostraron que el nivel de nitrógeno mineral afectaba el desarrollo vegetativo del arándano a partir del segundo año de estudio y que las reservas de nutrientes de las plantas provocaban un efecto “tampón” cuando se cambiaba la disponibilidad de N en el suelo. Siendo las plantas jóvenes (1 y 2 años) más sensibles ya que sus reservas de nutrientes son menores y su sistema radical más sensible a niveles altos de nitrógeno mineral. De esta forma, habría influido mucho más el historial de manejo del N en la temporada anterior que el manejo dado en esta temporada. Por ello, se espera que en la evaluación de segundo año, en los mismos huertos se presente lo señalado por el autor.

3.4 Efectos de la dosis de N sobre la concentración foliar

La Figura 9 muestra la concentración de nitrógeno foliar (%) en el tiempo desde mediados de diciembre a mediados de abril en todos los huertos evaluados para todos los tratamientos de fertilización nitrogenada.

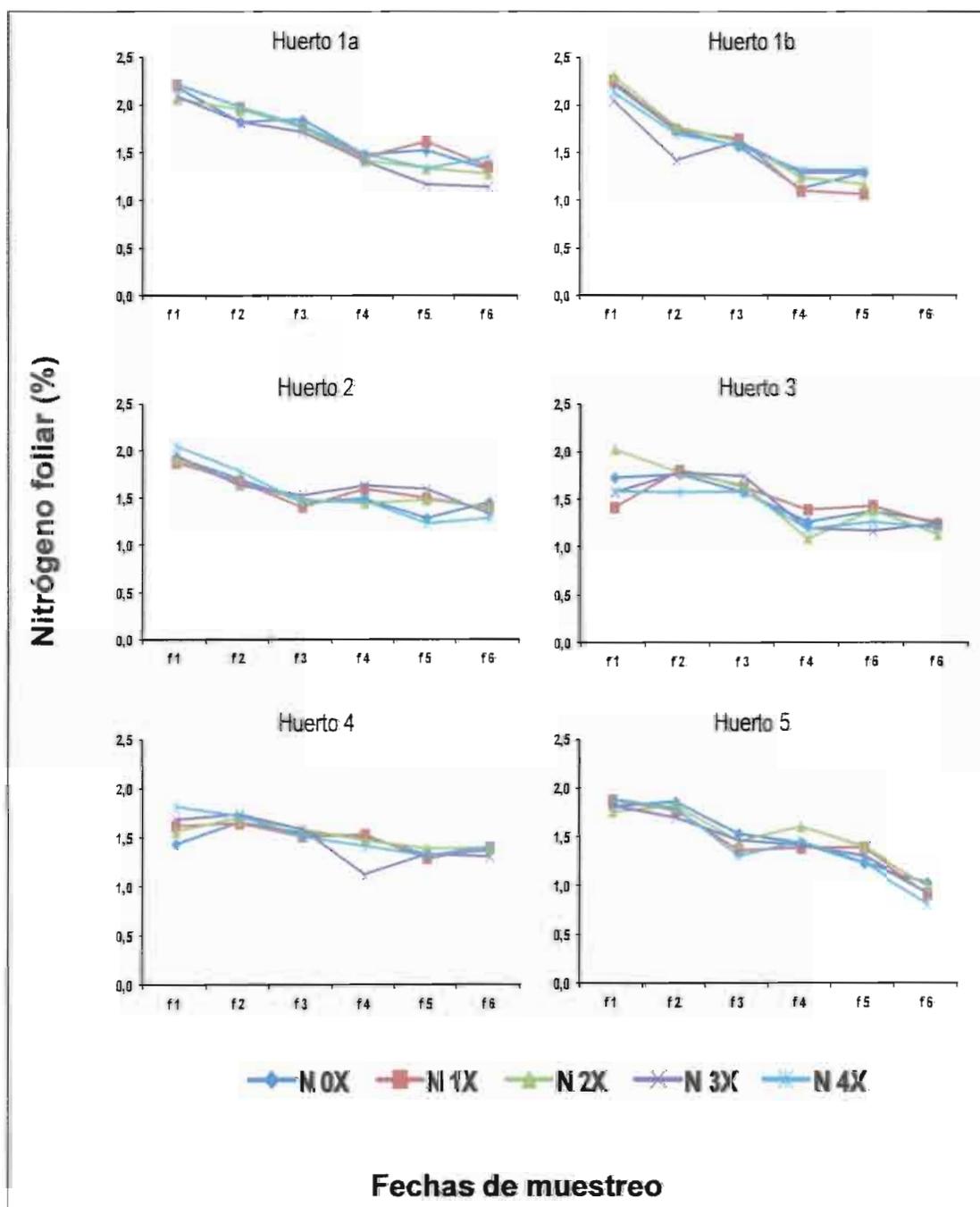


FIGURA 9 cambios estacionales de la concentración de nitrógeno foliar en todos los huertos y todos los tratamientos desde mediados de diciembre a mediados de abril.

No se determinaron diferencias en la concentración foliar de N atribuibles a las distintas dosis de nitrógeno aplicadas, en ninguna fecha de muestreo durante la temporada. Pero se observa claramente un patrón general de comportamiento, en todos los casos, que muestra una reducción en el contenido de N foliar desde mediados de diciembre hacia mediados de abril (fecha 1 a fecha 6). Este comportamiento general ha sido descrito anteriormente, como es señalado por HART *et al.* (2006), quienes generalizan diciendo que a principio de temporada la concentración foliar de nitrógeno es mayor que hacia el final de la temporada y que se debería a un mayor requerimiento del nutriente en los estados de formación de tejido nuevo, como son hojas, brotes y frutos y que posteriormente se forma mayor contenido de madera que son estructuras menos concentradas en nutrientes y se produce translocación desde las hojas hacia la madera de carbohidratos estructurales (GREENWOOD, 1983).

La falta de variación de la concentración de N foliar en función de la aplicación nitrogenada puede deberse a que corresponde al primer año de experimento, siendo la primera fecha de aplicación de N en noviembre de 2009 y los primeros muestreos foliares fueron en diciembre de 2009 y el último en abril de 2010. HART *et al.* (2006) señala que típicamente los cambios en concentración foliar en cultivos perennes, como el arándano, pueden requerir de hasta 2 años para que se evidencien en la concentración de nutrientes, siendo por ello el periodo de muestreo para este experimento posiblemente muy corto para evidenciar estos cambios.

De esta forma, se asumió que la concentración foliar en los huertos obedecían al historial de fertilización anterior (años previos) lo que se reflejaría en el tratamiento sin adición de N. Por ello, se comparan los distintos huertos en este tratamiento (0X) en su evolución con respecto al tiempo (datos en detalle en Anexo 6) y en función de la concentración de N mineral medida en el suelo.

En la Figura 10 se muestra en forma comparativa la variación de la concentración foliar del nitrógeno en el tiempo, para los tratamientos sin aplicación de N, en los distintos huertos evaluados.

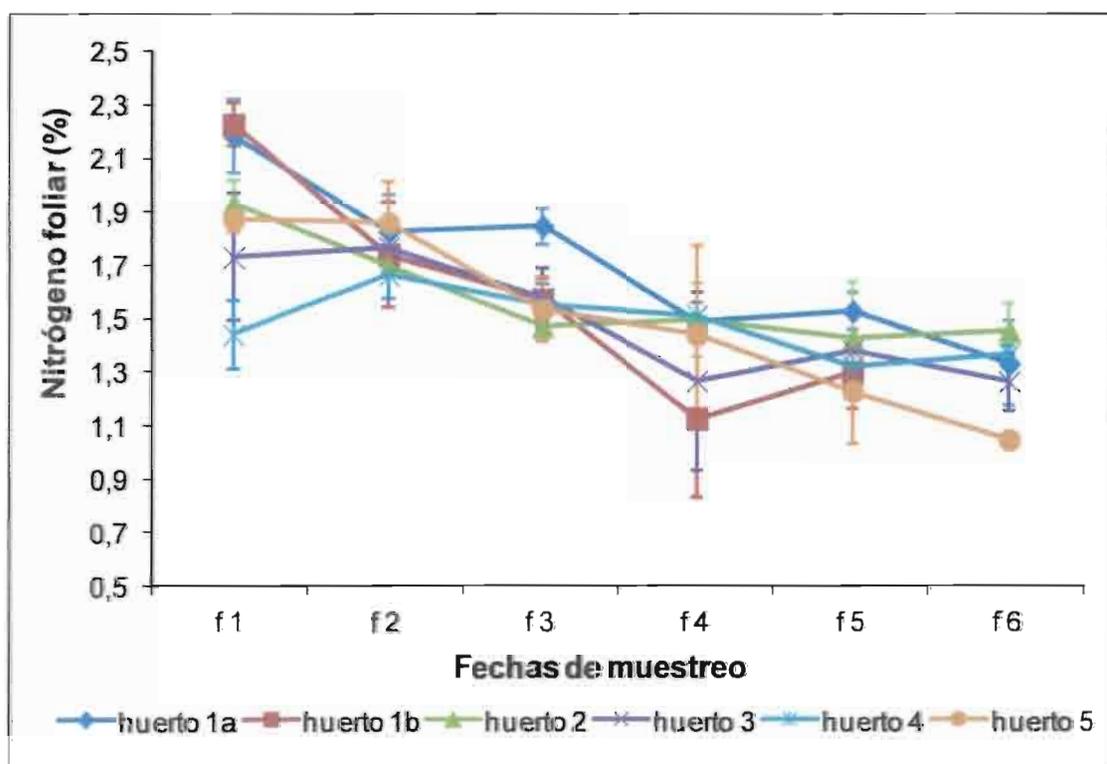


FIGURA 10 Variación de la concentración foliar de N (%) durante la temporada en los tratamientos sin aplicación en los 6 huertos evaluados.

Se observó a través de la temporada diferencias en el contenido foliar de nitrógeno entre huertos, presentando la mayor dispersión el a mitad de diciembre (fecha 1). En esta fecha, el mayor contenido foliar fue en los huertos 1a y 1b (2,2%) y el menor en el huerto 4 (1,4%), luego para enero e inicio de febrero (fecha 2 y fecha 3) tienden a ser relativamente homogéneos, dispersándose los valores nuevamente hacia mediados de febrero (fecha 4). En esta fecha, los valores de concentración foliar se invirtieron siendo el huerto 1b menor y el huerto 4 el que presenta el mayor contenido foliar en contraposición a lo determinado en la fecha 1. Para las últimas dos fechas las concentraciones cambian nuevamente quedando el huerto 5 con el menor contenido foliar (1,1%) y los huertos 1a, 2, 3 y 4 entre 1,2 a 1,4%. Estos resultados muestran que en distintas épocas de muestreo entre diciembre y abril podemos encontrar que huertos con menor contenido de nitrógeno en el suelo, se encuentran con mayor nitrógeno foliar o viceversa como veremos más en detalle en la Figura 11.

A continuación en el Cuadro 7, el nitrógeno foliar del tratamiento sin aplicación medido la primera semana de cosecha tal como señala la recomendación de HIRZEL y RODRIGUEZ (2003) es comparado con estándares internacionales de SPECTRUM ANALYTIC INC (2006) para los diferentes huertos evaluados.

CUADRO 7 Concentración de nitrógeno foliar medido durante la segunda semana de enero y su comparación con estándares internacionales de los tratamientos sin aplicación en todos los huertos evaluados y nitrógeno mineral promedio de las primeras 4 fechas de muestreo.

Huerto	% foliar	Rango normal	N-mineral
huerto 1a	1,83	1,8-2,1	40
huerto1b	1,74	1,8-2,1	32
huerto 2	1,70	1,8-2,1	42
huerto 3	1,70	1,8-2,1	30
huerto 4	1,67	1,8-2,1	55
huerto 5	1,86	1,8-2,1	59

En el Cuadro 7 podemos ver que existen dos huertos (1a y 5) dentro del rango suficiente, el resto de los huertos estaría bajo este rango, lo que no obedece a deficiencias en el suelo como vemos en el mismo cuadro. Estos resultados muestran que la fecha señalada por HIRZEL y RODRIGUEZ (2003) no reflejó el contenido de nitrógeno mineral del suelo en este estudio. La relación entre nitrógeno foliar y N mineral en distintas fechas de muestreo se muestra en la Figura 11.

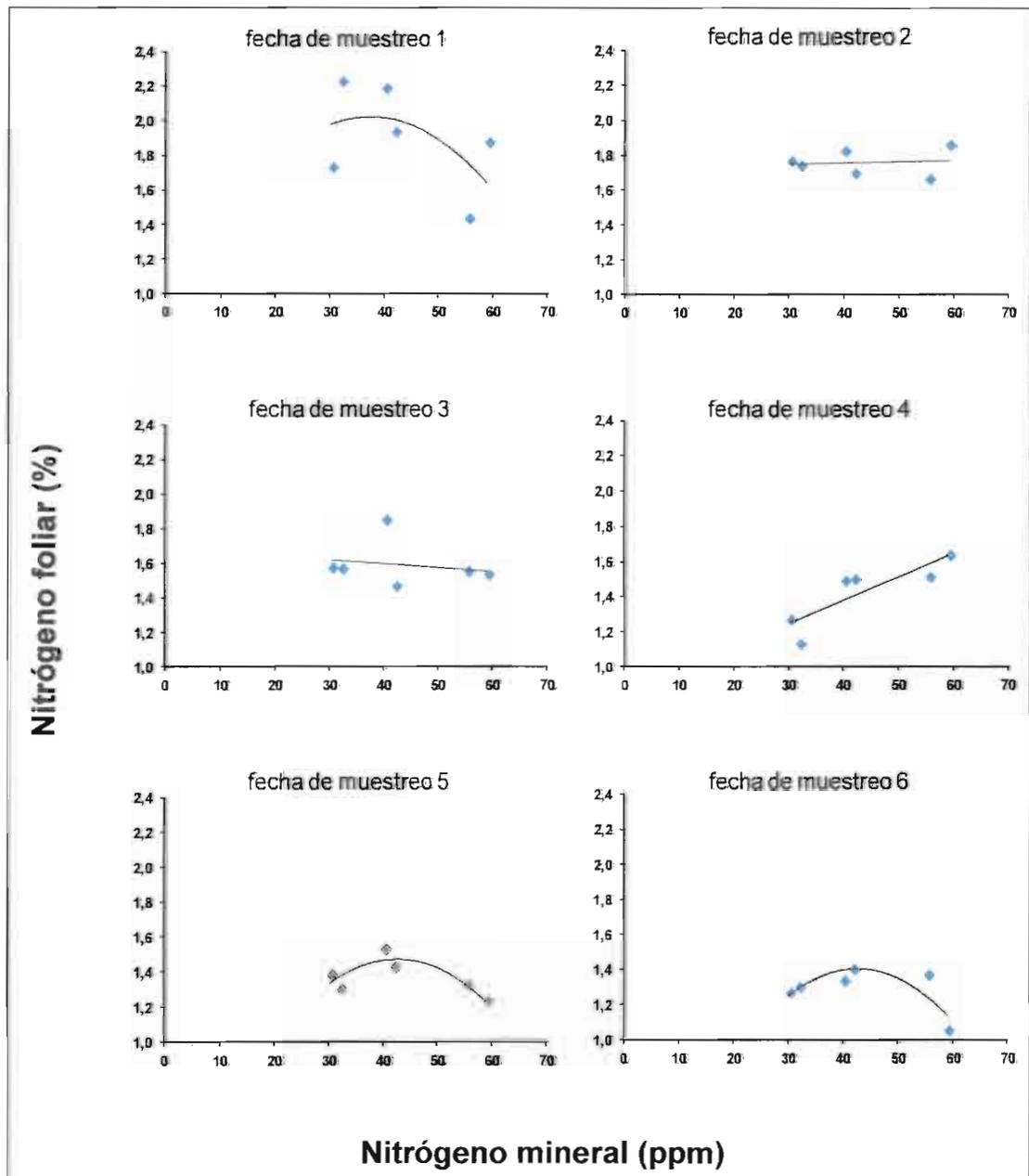


FIGURA 11 Relación entre nitrógeno mineral promedio entre diciembre a febrero y nitrógeno foliar (%) en 6 fechas diferentes, solo de los tratamientos sin aplicación en los 6 huertos evaluados.

Las relaciones encontradas entre nitrógeno foliar y nitrógeno mineral (Figura 11) no mostraron patrones similares a través de las fechas de muestreo entre diciembre y abril. Se esperaba un incremento de N foliar (%) a medida que incrementa la disponibilidad en el suelo, lo que se observó en la cuarta fecha de muestreo (mediados de febrero) y que se condice con la mayoría de la literatura. Sin embargo, temprano en el muestreo (mediados de diciembre) y hacia el final de los muestreos foliares (mitad de marzo y mitad de abril) se determinó una baja en la concentración con el aumento de N disponible. Estas disminuciones por sobre 50 ppm de N mineral en el suelo, son coincidentes con una disminución en el rendimiento de las plantas por toxicidad mostradas anteriormente (Figura 6) en los huertos, lo que sugiere una disminución en la absorción de N en plantas bajo condiciones tóxicas que se manifiesta temprano y hacia el final de la temporada. Esta menor absorción de N sería lo que se manifiesta en la disminución de la concentración de N. Estos resultados requieren ser corroborados en un segundo año de experimentación.

KREWER y NESMITH (2001) sostienen que no siempre la relación entre nitrógeno del suelo y el foliar es directa ya que un elemento puede estar alto en el follaje y bajo en el suelo o viceversa. Esta relación puede eventualmente afectarse por muchos factores como: condiciones de suelo desfavorable, pH, sobre saturación o sequia, malezas, insectos, heladas, agroquímicos, relaciones con otros nutrientes y otros (HART *et al.*, 2006).

Por otro lado, la segunda fecha de muestreo reportada aquí no mostró relación entre nitrógeno mineral y el N foliar. Esta fecha es la recomendada por HIRZEL y RODRIGUEZ (2003) quienes señalan que los muestreos foliares deben realizarse durante la primera semana de cosecha para comparar con estándares neozelandeses. Como se mostró en Cuadro 7, la segunda fecha de muestreo no refleja adecuadamente los niveles de N mineral en el suelo.

4 CONCLUSIONES

Este estudio evaluó los efectos del nivel de N en el suelo en dos variedades de arándano, Elliott y Briggita, cultivadas en suelos volcánicos del sur de Chile. Los parámetros evaluados fueron: nitrógeno mineral en el suelo, rendimiento de la temporada, crecimiento vegetativo y nitrógeno foliar.

El N mineral se reduce en los ensayos sin fertilización el N mineral a través de la temporada (diciembre a abril) siendo similar la concentración de nitrógeno mineral entre las dos profundidades evaluadas. El N mineral aumenta en función del nivel de fertilización hasta la dosis de 180 kg N/ha.

- Los rendimientos máximos obtenidos en cada huerto, fueron con hasta un mismo nivel de nitrógeno mineral en el suelo (40-55 ppm). Este nivel es propuesto como un nivel crítico máximo, ya que sobre este nivel los rendimientos se vieron afectados.

- Las diferentes dosis de N no afectaron significativamente el crecimiento de los brotes en la temporada en ningún huerto evaluado y las diferencias entre huertos no se pudieron atribuir a la disponibilidad de N.

- La concentración foliar de N mostró una reducción a través de la temporada en todos los casos, como ha sido mostrado en estudios anteriores y este comportamiento no fue afectado por la dosis de N aplicada.

Este estudio muestra que debido a que todos los huertos poseían un nivel alto de N mineral no se exhibieron síntomas de deficiencia de N en las plantas. Los parámetros que no se vieron afectados con los tratamientos: nitrógeno foliar y crecimiento de brotes, al parecer requieren de un mayor periodo de evaluación, se sugiere que con un segundo año de estudio, las diferencias esperadas se produzcan entre los tratamientos tal como lo sugieren estudios anteriores.

5 BIBLIOGRAFIA

- BALDINI, E. 1992. *Arboricultura general*. Ediciones Mundi–Prensa, Madrid. 379p.
- BANCO CENTRAL DE CHILE. 2012. Boletín mensual, junio 2012. Volumen 85. Numero 1012. 296p.
- BAÑADOS, P. 2005. *Fisiología, poda y nutrición del arándano*. Seminario ASOEX, 2005. Santiago de Chile.
- BAÑADOS, M.; STRIK, B.; BRYLA, D. y RIGHETTI, T. 2012. Response of Highbush Blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment, I: accumulation and allocation of fertilizer nitrogen and biomass. *Hortscience* 47(5): 648–655.
- BAÑADOS, P. 2006. *Dry weight and 15N-Nitrogen partitioning, growth, and development of young and mature blueberry plants*. Thesis of Doctor of Philosophy in plant physiology. Oregon State University. 164p.
- BRYLA, D.; MACHADO, R. y SHIREMAN, A. 2008. Effects of method and level of N fertilizer application on soil pH, EC and availability of NH₄⁺ and NO₃⁻ in blueberry. USDA. Universidade de Evora. 1p.
- CLARK, J.; McNEW, R. y MAPLES, R. 1999, Influence of nitrogen rate and sampling date on soil analysis values of Highbush Blueberries. University of Arkansas. Division of Agriculture. Research bulletin 961: 1-34.
- CENTRO DE COMPETITIVIDAD DEL MAULE. 2010. Informe centro de competitividad del Maule “arándanos”. Universidad de Talca, Región del Maule. 30p.
- CHILE, CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN). 2003. Estudio Agrológico. Descripciones de suelos materiales y símbolos X región. Tomo I, II. Publicación 123.

- CHILEAN BLUEBERRY COMMITTEE. 2012. Regiones Productivas. (On line). <http://comitedearandanos.cl/2010/spanish/regiones_productivas.php> (5 jun. 2012).
- ESPÍNDOLA, L. 2003. Producción de berries en Chile. 1º Seminário Brasileiro sobre Pequenas Frutas. Brasil. 16 – 23 p.
- FUNDACION PARA LA INNOVACION AGRARIA (FIA). 2002. Estrategia de innovación agraria para producción de berries. Ministerio de Agricultura. FIA. Santiago, Chile. 65p.
- 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.
- GIL, F. 2000. Tratado de arboricultura frutal. 4ta ed. Madrid, España. Ediciones mundiprensa. 554p.
- GREENWOOD, D. J. 1983. Quantitative theory and the control of soil fertility. *New Phytol.* 94, 1-18.
- 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. y RODRÍGUEZ, N. 2003. Necesidades nutricionales y fertilización del cultivo de arándano en etapa productiva. Informativo agropecuario bioleche – INIA Quilamapu. 3 p.
- HANSON, E.J. 2006. Nitrogen Fertilization of Highbush Blueberry. *Acta Horticulturae*. (ISHS) 715: 347-352.
- KREWER G, NESMITH S. 2001. Blueberry Fertilization in Soil. University of Georgia Ext. Fruit Publication 01-1. 14 p.

- MAHLAER R. L. y BARNEY D. L. 2000. Northern Idaho Fertilizer Guide: Blueberries, Raspberries and Strawberries. College of Agriculture. University of Idaho. 4p.
- MEDEL, F. 1979. Arbustos frutales: Informe proyecto horto-fruticola. Oficina de planificación nacional. Valdivia. 24p.
- MUÑOZ, C. y MOREIRA, I. 2002. Arándanos: situación actual y perspectivas de negocio. Tierra Adentro. N° 47 noviembre-diciembre 2002. 4p.
- NOVOA, R. y VILLASECA, S. 1989. Mapa Agroclimatico de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA). 221 p.
- OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA). 2012. Boletín frutícola, avance enero-febrero 2012. 26p.
- OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA). 2011. Arándanos: tendencias recientes en la industria en EEUU. Embajada de Chile, Washington DC. 7p.
- OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA). 2012b. Informativo de Mercado de berries frescos y congelados 2011/12. Edición N° 17. 18 de abril de 2012. 6p.
- PINOCHET D. Y MAC DONALD R. 2008. Niveles nutricionales en huertos de arándanos del sur de Chile. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile.
- RODRÍGUEZ, M. 1989. Geografía Agrícola de Chile. Santiago. Chile. Editorial Universitaria. 317 p.
- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; GREZ, R. y MORA, M. 2006. Acidificación de los suelos volcánicos de Chile. IVth International Symposium on Deteriorated Volcanic Soils. Morelia, Tlaxcala, México. 8 p.

- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; GREZ, R.; MORA, M.; FLORES, H y NEAMAN, A. 2006b. Metodos de análisis recomendados para los suelos de Chile, revisión 2006. Centro de investigación INIA la platina, Serie actas INIA nº 34. Santiago, Chile. 164p.
- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; DEMANET, R.; FLORES, H.; GREZ, R.; MORA, M. y NEAMAN, A. 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda Edición. Centro de investigación INIA la platina, Serie Actas INIA N° 40, Santiago, Chile. 140 p.
- SANTIBAÑEZ, P. 2012. Boletín agroclimático regional: Región de Los Ríos, mayo de 2012. Sistema agroclimático FDF–INIA–DMC. Chile. 12 p.
- SILVA, H. y RODRIGUEZ, H. 1995. Fertilización de Plantaciones Frutales. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). 590 p.
- SMOLARZ, K.; MERCIK, S. 1989. Growth and Yield of Highbush Blueberry Bluecrop cv. (*Vaccinium Corymbosum* L.) in Relation to the Level of Nitrogen Fertilization. *Acta Horticulturae*. 241 (1): 171-174.
- SPECTRUM ANALYTIC INC. 2006. A Guide to Fertilizing Blueberries. Fertilizing Blueberries. (On line). < http://www.spectrumanalytic.com/support/library/rf/A_Guide_to_Fertilizing_Blueberries.htm> (11 oct 2011).
- TISDALE, S.; NELSON W.; BEATON J.; HAVLIN J. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5ta ed. New Jersey. Ed Prentice Hall. 634p.
- TOSSO, J. 1985. Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. 723p.
- TOWNSEND, L. 1973. Effects of N, P, K and Mg on the growth and productivity of the Highbush Blueberry. *Canadian Journal of Plant science*. 53 (1): 161-168.
- WESTWOOD, M. 1982. Fruticultura en zonas templadas. Madrid, España. Ediciones Mundi-prensa. 461p.

- WEISHOU, S.; XIANGUI, L.; WEIMING, S.; JU, M.; NAN, G.; HUAYONG, Z.; RUI, Y.; XINGUA, H. 2010. Higher rates of nitrogen fertilization decrease soil enzyme activities, microbial functional diversity and nitrification capacity in a Chinese polytunnel greenhouse vegetable land. *Plant and Soil*. 337 (1): 137-150.
- ZUNINO, H.; BORIE, F.; AGUILERA, M.; PEIRANO, P.; CAIOZI, M. y MARTIN, J. 1982. Bioquímica de suelos derivados de cenizas volcánicas. I. Ecología microbiana y su relación con las propiedades físico-químicas de ellos. *Agricultura Técnica (Chile)*. 42 (1): 67-72.

6 ANEXOS

ANEXO 1 detalles del análisis inicial de suelo de los 6 huertos evaluados (julio de 2009).

Sitio	pH	Materia orgánica	N mineral	P Olsen	K intercambiable	Suma de bases	Al intercambiable	CiCe
	CaCl2	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	cmol+/kg	Cmol+/kg	Cmol+/kg
huerto 1a	5,3	12,2	11,2	12,6	93	5,25	0,07	5,32
huerto 1b	5,1	15,0	21,0	12,0	94	5,57	0,14	5,71
huerto 2	5,3	13,5	14,0	25,8	127	9,64	0,06	9,70
huerto 3	4,4	16,1	18,2	12,0	67	1,83	1,08	2,91
huerto 4	4,5	15,6	86,8	9,0	139	2,81	0,62	3,43
Huerto 5	5,1	15,5	16,8	9,9	130	6,88	0,08	6,96

ANEXO 2 Fechas de muestreos y mediciones en terreno entre mediados de diciembre a mediados de abril en todos los huertos evaluados.

fechas de toma de muestras de suelo						
sitio	fecha 1	fecha 2	fecha 3	fecha 4	fecha 5	fecha 6
huerto 1a	09/12/2009	06/01/2010	13/01/2010	15/02/2010	10/03/2010	14/04/2010
huerto 1b	09/12/2009	06/01/2010	13/01/2010	15/02/2010	10/03/2010	14/04/2010
huerto 2	11/12/2009	06/01/2010	02/02/2010	15/02/2010	16/03/2010	22/04/2010
huerto 3	12/12/2009	08/01/2010	29/01/2010	16/02/2010	11/03/2010	21/04/2010
huerto 4	15/12/2009	09/01/2010	25/01/2010	15/02/2010	11/03/2010	22/04/2010
huerto 5	17/12/2009	13/01/2010	03/02/2010	16/02/2010	12/03/2010	21/04/2010
fechas de toma de muestras foliares						
	fecha 1	fecha 2	fecha 3	fecha 4	fecha 5	fecha 6
huerto 1a	09/12/2009	06/01/2010	25/01/2010	15/02/2010	09/03/2010	13/04/2010
huerto 1b	09/12/2009	06/01/2010	25/01/2010	15/02/2010	09/03/2010	13/04/2010
huerto 2	11/12/2009	07/01/2010	02/02/2010	15/02/2010	17/03/2010	22/04/2010
huerto 3	15/12/2009	08/01/2010	03/02/2010	16/02/2010	12/03/2010	21/04/2010
huerto 4	16/12/2009	09/01/2010	26/01/2010	15/02/2010	12/03/2010	21/04/2010
huerto 5	18/12/2009	13/01/2010	03/02/2010	22/02/2010	15/03/2010	22/04/2010
fechas de medición de largo de brotes						
	fecha 1	fecha 2	fecha 3	fecha 4	fecha 5	fecha 6
huerto 1a	09/12/2009	13/01/2010	04/02/2010	19/02/2010	12/03/2010	21/04/2010
huerto 1b	09/12/2009	13/01/2010	04/02/2010	19/02/2010	12/03/2010	21/04/2010
huerto 2	11/12/2009	07/01/2010	27/01/2010	15/02/2010	16/03/2010	22/04/2010
huerto 3	15/12/2009	08/01/2010	29/01/2010	16/02/2010	11/03/2010	20/04/2010
huerto 4	16/12/2009	09/01/2010	26/01/2010	15/02/2010	11/03/2010	22/04/2010
huerto 5	17/12/2009	13/01/2010	04/02/2010	19/02/2010	12/03/2010	21/04/2010

ANEXO 3 Nitrógeno mineral promedio (ppm a 40 cm) por tratamientos en las 6 fechas de muestreo entre diciembre de 2009 a abril de 2010 para todos los huertos evaluados

Huertos	Tratamiento	Nitrógeno mineral (ppm)					
		fecha 1	fecha 2	fecha 3	fecha 4	fecha 5	fecha 6
Huerto 1a	N 0X	31	52	45	33	18	18
	N 1X	38	58	74	39	22	16
	N 2X	33	82	101	78	26	45
	N 3X	58	79	75	45	22	93
	N 4X	30	74	94	53	44	49
Huerto 1b	N 0X	26	45	34	22	15	8
	N 1X	36	58	59	40	15	17
	N 2X	41	86	100	51	18	22
	N 3X	48	68	131	46	30	29
	N 4X	51	74	113	71	26	31
Huerto 2	N 0X	44	59	46	40	28	35
	N 1X	50	75	13	81	44	28
	N 2X	67	78	65	118	53	29
	N 3X	65	98	37	100	91	42
	N 4X	83	76	36	106	47	38
Huerto 3	N 0X	28	45	29	30	12	26
	N 1X	44	57	30	50	12	32
	N 2X	65	77	48	40	18	42
	N 3X	94	91	68	54	23	64
	N 4X	57	81	48	59	25	55
Huerto 4	N 0X	37	64	63	75	55	69
	N 1X	72	85	128	62	45	83
	N 2X	104	54	145	80	35	63
	N 3X	110	77	139	77	45	59
	N 4X	138	51	117	78	67	46
Huerto 5	N 0X	58	65	41	32	44	42
	N 1X	69	74	73	32	65	35
	N 2X	78	71	47	40	84	38
	N 3X	71	113	72	41	87	46
	N 4X	59	77	86	49	107	68

ANEXO 4 rendimientos totales de fruta en todos huertos y tratamientos expresado en kilos promedio por planta

Rendimientos de fruta kg/planta						
tratamiento	huerto 1a	huerto 1b	huerto 2	huerto 3	huerto 4	huerto 5
0 X	2,37	2,21	0,20	0,75	3,44	2,15
0 X	1,81	1,75	0,21	1,23	4,34	1,06
0 X	2,27	1,76	0,62	2,64	3,70	1,59
1 X	1,83	2,18	0,22	1,19	2,32	1,98
1 X	2,05	2,25	0,27	3,07	2,31	1,31
1 X	1,56	2,20	0,59	2,87	3,89	1,07
2 X	2,17	2,95	0,14	1,82	3,40	1,79
2 X	1,55	2,15	0,26	1,52	3,64	2,21
2 X	1,35	1,43	0,42	2,08	2,71	1,37
3 X	1,93	2,17	0,19	0,44	2,82	1,44
3 X	1,79	1,91	0,21	0,72	3,50	1,83
3 X	1,64	2,29	0,25	1,08	2,28	0,89
4 X	2,10	2,25	0,06	0,83	2,77	1,69
4 X	1,93	1,80	0,24	0,95	2,35	0,82
4 X	2,13	1,42	0,66	2,54	1,98	1,63

ANEXO 5 largo promedio (cm) de los brotes del año medidos en las 6 fechas de muestreo en la temporada de todos los tratamientos y huertos.

Sitio	tratamiento	largo de brotes (cm)					
		fecha 1	fecha 2	fecha 3	fecha 4	fecha 5	fecha 6
huerto 1a	N 0X	27	46	51	54	55	56
	N 1X	32	43	48	51	52	53
	N 2X	25	38	41	42	46	50
	N 3X	29	39	41	45	47	51
	N 4X	30	44	46	49	50	55
huerto 1b	N 0X	32	44	57	57	59	63
	N 1X	29	50	48	51	51	54
	N 2X	36	55	59	63	66	68
	N 3X	33	47	55	56	61	64
	N 4X	29	41	45	46	51	53
huerto 2	N 0X	17	25	29	30	32	32
	N 1X	17	25	28	28	30	30
	N 2X	18	29	35	36	37	37
	N 3X	15	23	27	28	29	29
	N 4X	18	28	32	33	34	35
huerto 3	N 0X	42	56	65	67	67	69
	N 1X	32	45	55	57	57	57
	N 2X	40	52	58	60	62	62
	N 3X	44	54	63	66	68	69
	N 4X	38	51	61	63	65	65
huerto 4	N 0X	23	29	35	38	39	41
	N 1X	25	30	32	33	33	34
	N 2X	24	28	29	31	32	32
	N 3X	24	30	34	35	35	36
	N 4X	22	26	27	29	31	31
huerto 5	N 0X	26	34	35	36	36	38
	N 1X	28	36	39	39	40	41
	N 2X	28	37	38	40	40	42
	N 3X	27	38	43	44	45	46
	N 4X	23	31	34	35	34	35

ANEXO 6 contenido de nitrógeno foliar (%) en las muestras de los tratamientos sin aplicación de nitrógeno en las 6 fechas de muestreo

Nitrógeno foliar (%) por fecha de muestreo							
Huerto	Repetición	fecha 1	fecha 2	fecha 3	fecha 4	fecha 5	fecha 6
1a	1	2,35	1,86	1,90	1,52	1,5	1,5
1a	2	2,14	1,95	1,88	1,55	1,6	1,3
1a	3	2,08	1,67	1,77	1,41	1,5	1,2
1b	1	2,25	1,74	1,48	1,43	1,4	
1b	2	2,14	1,60	1,60	1,13	1,1	
1b	3	2,30	1,88	1,63	0,83	1,4	
2	1	1,84	1,66	1,48	1,42	1,3	1,4
2	2	1,99	1,73	1,52	1,42	1,6	1,4
2	3	1,99	1,71	1,42	1,66	1,4	1,6
3	1	2,00	1,78	1,68	1,06	1,4	1,2
3	2	1,67	1,71	1,60	1,09	1,4	1,2
3	3	1,53	1,82	1,46	1,65	1,3	1,4
4	1	1,35	1,77	1,47	1,52	1,4	1,3
4	2	1,44	1,60	1,58	1,46	1,4	1,4
4	3	1,53	1,63	1,62	1,56	1,2	1,4
5	1	1,88	2,02	1,44	1,05	1,2	1,0
5	2	1,91	1,86	1,67	1,64	1,4	1,1
5	3	1,84	1,72	1,51	1,64	1,1	1,1



Universidad Austral de Chile

**Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela de Agronomía**

**El aluminio 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

Sergio Rodrigo Soto Huenante

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

Susana Valle T.
Ing. Agr., Dr. Sc. Agr.
Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	5
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	El cultivo del arándano	7
2.1.1	Requerimientos climáticos del arándano	7
2.1.2	Requerimientos edáficos del arándano	8
2.1.3	Caracterización de los suelos volcánicos del sur de Chile	8
2.1.4	Nutrición del arándano	9
2.2	El cultivo de arándano a nivel mundial	10
2.2.1	Superficie cultivada de arándano	10
2.2.2	Producción mundial de arándano	10
2.2.3	Precios internacionales del arándano	12
2.3	El cultivo de arándano en Chile	12
2.3.1	Superficie cultivada de arándano	13
2.3.2	Producción nacional de arándano	13
2.3.3	Variedades de mayor importancia económica	13
2.4	Acidez del suelo	14

2.4.1	Acidez activa	14
2.4.2	Acidez intercambiable	14
2.4.3	Acidez residual	14
2.4.4	Aluminio	15
2.4.4.1	Aluminio en la solución del suelo	15
2.4.4.2	Aluminio intercambiable	16
2.4.4.3	Aluminio no intercambiable	17
2.4.4.4	Aluminio fitotóxico	17
2.4.4.5	Estudios del aluminio sobre arándanos en suelos volcánicos	18
3	MATERIAL Y MÉTODO	19
3.1	Materiales	19
3.1.1	Ubicación de los sitios de ensayos	19
3.1.2	Características edáficas de los sitios de ensayos	19
3.1.2.1	Serie Pelchuquín	20
3.1.2.2	Serie La Unión	20
3.1.2.3	Serie Río Bueno	21
3.1.2.4	Serie Osorno	21
3.1.3	Características químicas de los sitios de ensayos	21
3.1.4	Características climáticas de los sitios de ensayos	21
3.1.5	Variedades de arándanos	23

3.2	Métodos	23
3.2.1	Duración de los ensayos	23
3.2.2	Diseño experimental de los ensayos	23
3.2.3	Niveles de fertilidad de los sitios de ensayos	24
3.2.4	Toma de muestras	25
3.2.4.1	Muestreos de suelos	25
3.2.4.2	Muestreos foliares	25
3.2.4.3	Muestreos de frutos	25
3.2.5	Determinación de rendimiento	25
3.2.6	Determinación de rendimiento relativo	26
3.2.7	Procesamiento y análisis de las muestras	26
3.2.7.1	Análisis de muestras de suelo	26
3.2.7.2	Análisis de muestras foliares	26
3.2.7.3	Almacenamiento y análisis de calidad en frutos	26
3.2.7.3.1	Almacenamiento de las muestras	26
3.2.7.3.2	Análisis de calidad en frutos	27
3.2.8	Análisis estadísticos de datos	28
3.2.8.1	Nivel crítico de aluminio intercambiable en el suelo	28
3.2.8.2	Determinación de la concentración crítica en el tejido y momento óptimo de muestreo foliar	29

3.2.8.3	Evaluación de los parámetros de calidad de fruto	29
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
4.1	Relación entre el aluminio intercambiable y el rendimiento relativo de arándanos	31
4.1.1	Determinación del nivel crítico de aluminio intercambiable en el suelo para la producción de arándano	31
4.1.2	Evaluación de la respuesta de la variedad de arándano a diferentes niveles de aluminio intercambiable en el suelo	34
4.1.3	Efecto del aluminio intercambiable en el rendimiento relativo de arándanos en diferentes edades productivas	36
4.2	Concentración foliar de aluminio en arándanos y su relación con el rendimiento relativo	37
4.3	Efecto del aluminio intercambiable del suelo sobre la concentración foliar de aluminio en dos variedades de arándanos	39
4.4	Época de muestreo foliar	40
4.4.1	Variación de la concentración foliar de aluminio a través del tiempo en arándanos cultivados en el sur de Chile	41
4.4.2	Variación de la concentración foliar de aluminio en variedad Elliot	43
4.4.3	Variación de la concentración foliar de aluminio en variedad Brigitta	44
4.5	Calidad de fruto	45
4.5.1	Calibre de frutos	45
4.5.2	Peso de frutos	47

4.5.3	Tipo de frutos	49
4.5.4	Firmeza de frutos	51
4.5.5	Razón sólidos solubles: acidez titulable	53
5	CONCLUSIONES	56
6	BIBLIOGRAFÍA	58
7	ANEXOS	66

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Producción mundial de arándano alto (toneladas) en el año 2007	11
2	Ubicación e identificación de los diferentes sitios de ensayos	19
3	Clasificación de los diferentes sitios de ensayos	20
4	Características químicas en sitios de ensayos a fines de temporada	22
5	Características climáticas de los sitios de ensayos	22

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Distribución porcentual de la superficie cultivada con arándanos en el mundo	10
2	Disponibilidad de arándanos en el hemisferio sur	11
3	Evolución de precios de arándanos frescos en E.E.U.U. (Miami), en dos temporadas	12
4	Actividad relativa de especies de aluminio y concentración total (Al_t) de aluminio soluble como una función del pH	16
5	Relación entre el pH al agua y el contenido de Al intercambiable en diferentes tipos de suelos chilenos	17
6	Diseño experimental de los ensayos establecidos para analizar los diferentes parámetros a evaluar	24
7	Rendimiento relativo obtenido bajo diferentes concentraciones de disponibilidad de aluminio intercambiable en el suelo en los diferentes sitios de ensayo	31
8	Relación directa entre los sitios de ensayo que presentaban bajos y altos niveles de Al intercambiable en relación a los rendimientos relativos	33
9	Efecto del aluminio intercambiable en el rendimiento relativo de dos variedades de arándanos, Brigitta y Elliot, variedades tardía y semitardía respectivamente	35

10	Diferencias en la respuesta a diferentes concentraciones de Al intercambiable sobre arándanos en diferentes etapas productivas	37
11	Efecto de la concentración foliar de aluminio sobre el rendimiento relativo en arándanos	38
12	Concentración foliar de aluminio a diferentes niveles de aluminio intercambiable en el suelo	40
13	Variación del promedio de concentración de aluminio a nivel foliar en las dos variedades de arándanos estudiadas	41
14	Variación de la concentración de aluminio a nivel foliar en la variedad Elliot	43
15	Variación de la concentración de aluminio a nivel foliar en la variedad Briggitta	44
16	Efecto de los diferentes niveles de aluminio intercambiable en el calibre de frutos	46
17	Efecto de los diferentes niveles de aluminio intercambiable en el peso promedio de frutos de arándanos, según su calibre	48
18	Relación entre el nivel de aluminio intercambiable en el suelo y el peso promedio de frutos de arándanos	49
19	Efecto de los diferentes niveles de aluminio intercambiable en el tipo de fruto obtenido al momento de la cosecha (a), 20 días postcosecha (b) y 40 días postcosecha	50
20	Efecto de los diferentes niveles de aluminio intercambiable sobre la firmeza del fruto de arándano obtenidos a la cosecha y en postcosecha	52
21	Relación entre el nivel de aluminio intercambiable en el suelo y la	53

	firmeza de frutos de arándanos en la cosecha y postcosecha	
22	Efecto de los diferentes niveles de aluminio intercambiable sobre la relación sólidos solubles y acidez titulable en el fruto de arándano obtenidos a la cosecha y en postcosecha	53
23	Relación entre el nivel de aluminio intercambiable en el suelo y la relación entre sólidos solubles y acidez titulable a la cosecha y postcosecha	54

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Análisis químico de suelos iniciales correspondientes a cada uno de los sitios de estudio	66
2	Rendimiento total temporada 2009/10 obtenido en cada uno de los sitios estudiados	67
3	Análisis químico de los sitios de estudio, realizado al final de la temporada	70
4	Concentraciones foliares de Al de cada una de las repeticiones para cada uno de los muestreos (mg kg^{-1})	72
5	Resultados de los análisis de calidad de frutos a la cosecha y en la postcosecha	74

RESUMEN

En Chile el cultivo del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) se encuentra establecido en una gran superficie de suelos volcánicos. Las condiciones edáficas presentes en estos suelos son una alta capacidad de fijación de P, una alta porosidad, alto contenido de materia orgánica y un pH ácido, principalmente. Esta última condición es importante en los suelos de origen volcánico, ya que afecta directamente el contenido de aluminio (Al) intercambiable del suelo, generando problemas productivos y nutricionales en el desarrollo de los cultivos.

Por lo tanto, se planteó la siguiente hipótesis: "Los suelos ácidos del Sur de Chile, con excesiva disponibilidad de Al intercambiable, afectan la productividad y calidad de fruto de arándano en cosecha y en postcosecha". De esta manera, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del aluminio disponible en el suelo, sobre el rendimiento de fruto, la variación en el análisis foliar y la concentración de aluminio en los frutos y su efecto en la calidad de cosecha y postcosecha.

En cinco huertos de arándanos, ubicados en la depresión intermedia de la Región de Los Ríos y la Región de los Lagos, entre Septiembre de 2009 y Abril de 2010, se evaluó el efecto del aluminio disponible en el suelo: sobre el rendimiento de fruto; sobre la concentración de aluminio en el fruto y su efecto en la calidad de cosecha y postcosecha; y su variación en el análisis foliar. Se analizó la relación entre la concentración foliar de aluminio y el rendimiento arándanos. Se evaluó también la época óptima de muestreo foliar. Cada huerto presentaba diferentes niveles de aluminio intercambiable, donde se establecieron dos tratamientos, un tratamiento sin corrección y otro con corrección, para evaluar únicamente el elemento de estudio. En cada uno de los tratamientos: se midió el nivel de aluminio intercambiable del suelo y el rendimiento total, se realizaron muestreos foliares (cada 21 días) y de frutos en los tratamientos sin corrección. Los parámetros de calidad en frutos se midieron en cosecha y postcosecha (20 y 40 días).

Los resultados de este estudio indican que existe un nivel de aluminio intercambiable en el suelo, a partir del cual se produce una disminución del rendimiento del cultivo de

arándano. El valor crítico de aluminio intercambiable propuesto es de $0,35 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$. Además, el aluminio intercambiable del suelo presente en los diferentes huertos estudiados no afectó los parámetros de calidad de fruto (firmeza, peso, tipo, calibre y relación sólidos solubles:acidez titulable) a la cosecha ni en la postcosecha, durante la temporada de estudio.

La relación observada entre la concentración foliar de aluminio y el nivel de aluminio intercambiable del suelo, en las variedades de arándano estudiadas, sugiere mecanismos de tolerancia al estrés, que evitan el traspaso de aluminio a la parte foliar de las variedades de arándano estudiadas.

No se determinó una relación entre la concentración foliar de aluminio y el rendimiento de arándano cultivados en la zona Sur de Chile. Por lo que, establecer un nivel crítico de aluminio foliar no fue posible durante la temporada de estudio. La concentración foliar de aluminio a medida que transcurrió la temporada de cultivo aumentó hasta el final de la cosecha de frutos en ambas variedades estudiadas.

El momento óptimo para realizar el muestreo foliar se encontraría a principios de temporada (diciembre), y a finales de temporada (marzo), ya que es en estos momentos donde se separan estadísticamente los niveles foliares de plantas en condiciones bajo el umbral y sobre el umbral antes propuesto. Existió una pequeña diferencia entre las variedades Elliot (variedad tardía) y Brigitta (variedad temprana).

SUMMARY

In Chile blueberry crop (*Vaccinium corymbosum* L.) is established in a large area of the volcanic soils. The main edaphic conditions present in these soils are their high P binding capacity, high porosity, high organic matter contents and acid pH. This last condition is important in volcanic origin soils, as it directly affects its available aluminum (Al) content, generating productive and nutritional problems in the crop development.

Therefore, the following hypothesis was evaluated: "The acid soils of southern Chile, with excess availability of exchangeable aluminum affect productivity and fruit quality of blueberries in harvest and post-harvest". Thus, the objective of the research was to evaluate the effect of available soil aluminum fruit yield, foliar analysis variation and aluminum concentration in the fruit and its effect on the quality of harvest and postharvest.

In five different blueberries orchards, located in the central depression of Los Ríos Region and Los Lagos Region, between September 2009 and April 2010, the effect of soil available aluminum was measured: on fruit yield; on the aluminum concentration in the fruit and its effect on the quality of harvest and post-harvest; and their variation in the foliar analysis. The relationship between the foliar concentration aluminum and blueberries yield, was analyzed. As well as evaluated the optimal time for leaf sampling. Each orchard had different levels of exchangeable aluminum. Two treatments were establishing, a treatment without correction and another corrected to evaluate only the element study. In each of the treatments: the level of soil exchangeable aluminum and total yield were measured, leaf (every 21 days) and fruits samples were taken on non-corrected treatments. The fruit quality parameters were measured at harvest and post-harvest (20 and 40 days).

The results of this study showed an exchangeable aluminum level soil, from which blueberry crop yield is reduced. The critical value proposed is $0.35 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ of exchangeable aluminum. Available aluminum on different orchard did not affect the fruit quality parameters (firmness, weight, type, size and relationship soluble solids:titratable acidity) on harvest, or at 20 and 40 days post-harvest, during study season.

The relationship between aluminum leaf concentration and the level of aluminum exchangeable soil, suggests stress tolerance mechanisms avoiding the transfer of Al to the leaves of the blueberry varieties studied.

No relation was found between the aluminum leaf concentration and blueberries yield in the south of Chile. It was not possible to establish a critical level on aluminum leaf level during the season evaluated. Foliar aluminum concentrations during the growing season was increasing until the end of the harvest of fruits in both varieties.

The optimal time for leaves sampling could be early in the season (December) or late season (March), as it is at these moments where statistically separate plant foliar levels low and under the proposed threshold before. There was little difference between Elliot and Brigitta varieties.

1 INTRODUCCION

El cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en Chile es guiado por tecnologías de producción y diagnóstico nutricional generadas en Estados Unidos, las que han sido adecuadas para las condiciones productivas de la zona central y centro-norte. Sin embargo, un gran porcentaje de la superficie plantada se encuentra establecida en suelos volcánicos del sur de Chile, por lo que la escasa adaptación y validación de estas tecnologías importadas a las condiciones locales, ha generado problemas productivos y nutricionales. Las condiciones edafoclimáticas de los suelos volcánicos del Sur de Chile consisten principalmente en poseer una alta capacidad de fijación de P, una alta porosidad, un alto contenido de materia orgánica y un pH ácido. Esta última condición de suelo es una de las más importantes en los suelos de origen volcánico, ya que afecta directamente el contenido de aluminio tóxico presente en el suelo, tanto en sus formas intercambiables como en solución. En la medida que el valor de pH de un suelo disminuye, formas fitotóxicas de aluminio son liberadas a la solución del suelo (Al^{+3}), y como la gran mayoría de las especies son sensibles a concentraciones altas de Al, su toxicidad es uno de los factores de importancia en la productividad de los cultivos.

Los efectos que puede producir el consiguiente aumento de Al disponible en la solución del suelo no están cuantificados en el rendimiento y calidad de fruta en el cultivo de arándano en la zona Sur de Chile, por lo que se hace necesario determinar los parámetros adecuados que nos ayuden a hacer más eficiente la producción de arándanos en esta zona del país.

Dado lo anteriormente expuesto se plantea la siguiente hipótesis:

Los suelos ácidos del Sur de Chile, con excesiva disponibilidad de aluminio intercambiable, afectan la productividad y calidad de fruto de arándano en cosecha y en postcosecha.

Para poder evaluar la hipótesis se plantea como objetivo general:

- Evaluar el efecto del aluminio disponible en el suelo sobre el rendimiento de fruto, la concentración foliar y en los frutos y su efecto en la calidad de cosecha y postcosecha.

Como objetivos específicos se plantean:

- Determinar el efecto del aluminio disponible en el suelo sobre el rendimiento de fruto.
- Determinar el efecto del aluminio disponible en el suelo sobre la concentración de Al en el fruto y su efecto en la calidad de cosecha y postcosecha.
- Determinar el efecto del aluminio disponible en el suelo y concentración foliar de aluminio.
- Analizar la relación entre la concentración foliar de aluminio y el rendimiento de arándanos.
- Determinar la época de muestreo foliar.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 El cultivo del arándano

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), es un frutal de tamaño pequeño nativo de Norteamérica, pertenece a la familia de las *Ericáceas*, clasificado dentro de la subfamilia *Vacciniaceae*, subgénero *Cyanococcus* y genero *Vaccinium*. El fruto de color azul, puede variar en tamaño entre 0,7 a 1,5 cm de diámetro dependiendo de la especie y cultivar (SUDZUKI, 2002; BUZETA, 1997). Además el fruto del arándano tiene la característica de ser climatérico, ya que aumenta su actividad respiratoria posterior a la cosecha, continuando con la maduración (DARNELL *et al.*, 1992).

Según lo señalado por GODOY (2002), el sistema radical que presenta el arándano es de aspecto fibroso y se distribuye superficialmente, por lo que es muy dependiente de un alto contenido de humedad. BUZETA (1997), además indica que en condiciones naturales las raíces se encuentran asociadas simbióticamente a hongos micorrizógenos específicos. El sistema radical que presenta el arándano tiene una muy importante desventaja, la cual radica fundamentalmente en no presentar pelos radicales, por lo que son las raíces más jóvenes las encargadas de la absorción de nutrientes. Tal situación genera una capacidad de absorción mucho más reducida que otras especies.

Existen diferentes especies de arándanos, siendo cultivados los arándanos "altos" (*V. corymbosum* L.), "ojo de conejo" (*V. ashei* Reade), "bajos" (*V. angustifolium* L.) e híbridos (provenientes de cruzamientos entre *V. corymbosum* y *V. angustifolium*) (OLIVARES, 2009).

2.1.1 Requerimientos climáticos del arándano. Según lo señalado por BOWEN (1986) y SUDZUKI (2002), los arándanos crecen y se desarrollan en un gran número de climas, debido fundamentalmente a que sus requerimientos de frío van desde 400 a las 1200 horas-frío (<7,2 °C). Es así como los arándanos altos del norte, requieren de 800 a 1200 horas de frío y pueden resistir hasta – 30°C, en invierno (INDAP, 2005).

ESPINDOLA (2003), señala que en Chile las variedades se han establecido en la zona sur del país principalmente, no obstante, también existen grandes cultivos en la zona central. Esto debido principalmente a que durante el periodo de maduración de la fruta temperaturas por sobre 27 °C y vientos desecantes pueden afectar al fruto, produciendo problemas de deshidratación y calentamiento de las bayas (VALENZUELA, 1988).

2.1.2 Requerimientos edáficos del arándano. La mayoría de las especies que pertenecen a la familia de las *Ericáceas*, en donde se encuentra el arándano, tienen requerimientos particulares, ya que se desarrollan bien en suelos ácidos con valores de pH entre 4,0 y 5,0. Además, el suelo debe presentar una estructura con un alto desarrollo de macroporos para presentar una buena aireación (BUZETA, 1997; VALENZUELA, 1988). Además, OPAZO (2006) y MUÑOZ (1988), señalan que para lograr una alta porosidad se requiere de la incorporación de mulch y materia orgánica, lo que produce una buena distribución radicular lo que permite el mayor crecimiento de las plantas. VALENZUELA (1988), indica que el sistema radical que presenta el arándano, a pesar de que necesita una humedad constante, no soporta problemas de drenaje por falta de oxígeno. Con respecto a los requerimientos de acidez BUZETA (1997), señala que en nuestro país dichas condiciones se presentan en una gran cantidad de series de suelos ubicados en la zona sur, principalmente desde la VIII a la X región. Por lo que el arándano se adapta de buena manera a los suelos de origen volcánico presentes en la zona sur de Chile.

2.1.3 Caracterización de los suelos volcánicos del sur de Chile. Según lo señalado por TOSSO (1985), los suelos volcánicos del sur de Chile equivalen a cerca de 60% de los suelos arables existentes en el país. Los Andisoles son ampliamente reconocidos porque presentan características edáficas muy particulares y que le son de carácter natural, estas características están dadas por el proceso de meteorización del material parental desde el cual se desarrollan las estructuras no cristalinas y los complejos Al-humus que definen estas propiedades. Dentro de las propiedades se pueden distinguir: carga variable, alta capacidad de fijación de fósforo, baja densidad aparente, gran volumen de poros a distintos potenciales mátricos y una alta conductividad hidráulica en fase saturada y no saturada. Según señalan SADZAWKA *et al.* (2006a), los suelos volcánicos del sur de Chile presentan en general una baja

fertilidad química, debido principalmente a la presencia de dos factores importantes: alta retención de fósforo y acidificación. BERNIER y ALFARO (2006), señalan que los suelos volcánicos del sur de Chile presentan una fuerte capacidad de retención del P, por esta razón la mayoría de los suelos existentes en la zona sur presentan niveles bajos o muy bajos de disponibilidad de P, lo que hace necesario aplicar altas dosis de fertilizantes fosfatados. La acidificación que presentan los suelos volcánicos del sur de Chile es el resultado en la disminución de la concentración de bases intercambiables, la cual es causada por una combinación de diferentes factores, siendo las más importantes, el material parental de origen, lixiviación de bases por la alta pluviometría, acción de microorganismos del suelo y plantas, la adición de fertilizantes con efectos acidificantes, agricultura extractiva sin reposición (MORA *et al.*, 2004; MARCHNER, 1995; ROWELL, 1992).

2.1.4 Nutrición del arándano. BUZETA (1997), indica que los arándanos son nativos de áreas arenosas o pantanosas en la que los niveles nutricionales son bajos. Algunos estudios han determinado que el crecimiento máximo puede ser alcanzado con la mitad de los nutrientes que se utilizan para el desarrollo de otros frutales. Esta característica particular de la especie provoca que puedan producirse problemas en los rendimientos y daños en los frutos por un exceso de fertilizantes. Según HIRZEL y RODRIGUEZ (2003), la dosis de nutrientes que se deben utilizar para la fertilización de producción de arándano debe responder a las necesidades que este cultivo manifiesta, la forma de determinar los niveles nutricionales del cultivo es mediante el análisis foliar, cuyo estándar comparativo debe ser generado en base a nuestras condiciones de suelo y clima, o en su defecto se deben buscar las condiciones más parecidas a las existentes en Chile.

Por otro lado, en Chile no se han generado estándares nutricionales que permitan evaluar el estado nutricional de los huerto de Chile, por ello se utilizan habitualmente estándares extranjeros, los que en su mayoría han sido generados en condiciones de suelo y clima diferentes a las que existen en nuestro país para la producción de arándanos, estos estándares provienen principalmente desde el Hemisferio Norte.

2.2 El cultivo de arándano a nivel mundial. Se presentan a continuación aspectos relevantes en el cultivo de arándano a nivel internacional, tales como: superficie cultivada, producción mundial, destino de exportaciones del arándano.

2.2.1 Superficie cultivada de arándano. Según lo señalado por ERNST (2009), el crecimiento del cultivo de arándano no fue solo un fenómeno que se produjo en Sudamérica, ya que se replicó también a nivel mundial. Norteamérica y Europa expandieron su superficie de cultivo, y países de Asia y África iniciaron sus primeras producciones. SOTO *et al.* (2010), indican que la superficie mundial cultivada de arándanos superó las 66.000 ha en la temporada 2008/2009, de las cuales 48.000 correspondían al hemisferio norte (79%) y 18.000 al hemisferio sur (21%). En la Figura 1 se aprecia la distribución porcentual de la superficie cultivada a nivel mundial.

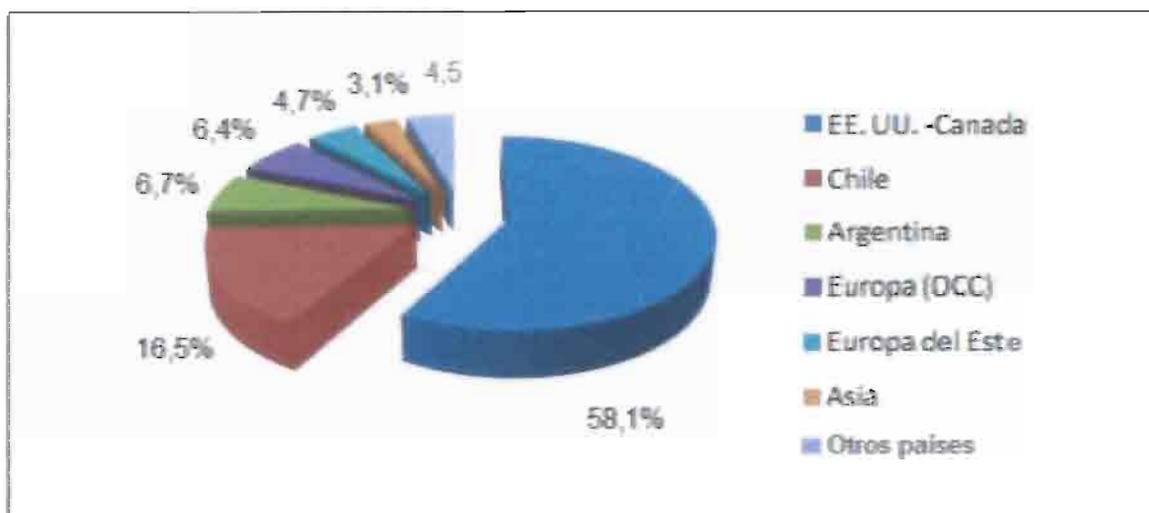


FIGURA 1 Distribución porcentual de la superficie cultivada con arándanos en el mundo.

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

2.2.2 Producción mundial de arándano. La producción mundial, se situó en 180.000 toneladas en 2005, y se espera que para 2015 se alcancen las 680.000 toneladas (ERNST, 2009). De la producción total, los países del hemisferio sur exportan un gran volumen de fruta en contra-estación hacia el hemisferio norte durante los meses de septiembre a abril, orientándose en un 90% a la exportación en fresco (BRUNO, 2008). La temporada de producción (Figura 2) en el hemisferio sur comienza a principios de septiembre y se extiende hasta abril. En Argentina la temporada comienza en septiembre y en Uruguay comienza, cuando ya la temporada Argentina está en plena

producción (octubre). Cuando Argentina y Uruguay están terminando su temporada, se inicia la máxima producción en Chile, esto es a fines de noviembre llegando hasta el mes de abril (ERNST, 2009).

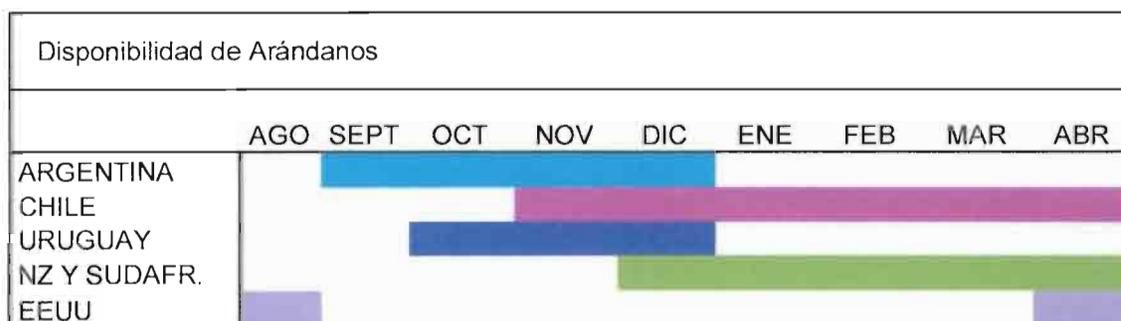


Figura 2 Disponibilidad de arándanos en el hemisferio sur.

FUENTE: Adaptado de ERNST (2009).

Chile es el mayor productor del hemisferio sur, le siguen Argentina, Nueva Zelanda, Australia y Sudáfrica (INDAP, 2009). La producción destinada al comercio como producto fresco y como procesado, durante el año 2007 es presentada en el Cuadro 1 (SOTO *et al.*, 2010).

CUADRO 1 Producción mundial de arándano alto (toneladas) en el año 2007.

Países	Fresco (t)	Procesado (t)
Estados Unidos/Canadá	178.000	138.000
Chile	22.500	2.500
Europa	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).

2.2.3 Precios internacionales del arándano. La variación en el precio (en U\$) pagado por caja en el mercado de Miami, es presentada en la Figura 3, se aprecia en ella que en la temporada 2009/2010, se obtuvieron mejores precios con respecto a la temporada 2008/2009. En la Figura 3 también se señala cuando el producto proviene de Chile y cuándo de Estados Unidos, además de observarse que se obtiene los mejores precios al principio y al final de la temporada



FIGURA 3 Evolución de precios de arándanos frescos en E.E.U.U (Miami), en dos temporadas.

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

2.3 El cultivo de arándano en Chile.

Las primeras experiencias con arándanos en el país, ocurren en la Universidad Austral de Chile en el año 1977, como parte del Programa de Investigación y Desarrollo Frutícola para el Sur de Chile (MEDEL, 1987). Por otra parte, BUZETA (1997) señala que la inclusión del arándano en distintas regiones de Chile comenzó a finales de la década del setenta y/o principios de la década de los ochenta, por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ante la necesidad imperante de diversificar la fruticultura de exportación del país y con la finalidad de incorporar a la agricultura zonas que mantenían cultivos con una rentabilidad baja. La producción se orientaba a la exportación en fresco principalmente hacia Norteamérica. A partir de los buenos resultados económicos obtenidos en la exportación, se establecieron plantaciones en la zona Centro y Sur del país, principalmente. Aunque la introducción de nuevas variedades que presentan menores requerimientos de frío invernal, que se adaptan al

clima existente en la zona centro-norte del país, han generado un mayor interés para realizar inversiones al norte de la Región Metropolitana. El interés que han presentado los agricultores se ha mantenido hasta el presente, fundamentalmente por la rentabilidad que ha alcanzado, pero además por la cualidad que presenta el arándano de ser el único Berry que permite una guarda bastante prolongada en frío (mas de un mes), por lo que se puede comercializar cuando existen mejores precios en el mercado (FIA, 2002).

2.3.1 Superficie cultivada de arándano. Según lo señalado por CHILEAN BLUEBERRY COMMITTEE (2011), en la actualidad Chile es el país que posee la mayor superficie de arándanos del Hemisferio Sur con 12.500 ha plantadas, de las cuales cerca de un 82% se encuentra distribuida entre las regiones del Maule y Los Lagos (CENSO AGROPECUARIO, 2007). En lo que se refiere a la superficie existente de frutales en Chile, el arándano presenta plantaciones que cubren alrededor de un 10% del total de la superficie plantada (ODEPA, 2008).

2.3.2 Producción nacional de arándano. MUÑOZ y MOREIRA (2002), señalan que Chile comenzó a exportar arándanos hacia el extranjero a partir de la temporada 1988/89, y desde entonces la producción ha ido en aumento. Para la temporada 2006/07, Chile presentaba una producción de 26 mil toneladas, y para la temporada 2009/2010 ya presentó una producción cercana a las 68 mil toneladas lo que ratifica la posición de ser el mayor productor del Hemisferio Sur (DOMINGUEZ, 2011). Según lo señalado por la Fundación para la Innovación Agraria (2002), Chile exporta entre el 85 y 95% del volumen total que produce. La producción de esta especie se destina en fresco a los mercados del Hemisferio Norte, tales como a los EEUU (90%), Europa (9%), Asia y America Latina (1%), en los meses comprendidos entre Noviembre y Mayo.

2.3.3 Variedades de mayor importancia económica. En nuestro país actualmente están disponible la mayoría de las variedades de las especies de arándano alto (*Vaccinium corymbosum*) y arándano ojo de conejo (*Vaccinium ashei*) que se comercializan en el mercado mundial (MUÑOZ y MOREIRA, 2002). Según lo señalado por OPAZO (2006), de estas especies, la de mayor importancia es el arándano alto o "Highbush" (*Vaccinium corymbosum*), que representa mas del 80% del total de las especies cultivadas en el país. Dentro de los arándanos altos existen variedades que

presentan una mayor importancia debido a su adaptación a las condiciones existentes en Chile, esta son principalmente Bluecrop, Blueray, Briggita y Elliot (MUÑOZ Y MOREIRA, 2002).

2.4 Acidez del suelo

Según lo señalado por ROWELL (1992), la acidez de los suelo es un concepto que proviene del efecto dominante que provoca la concentración de iones de hidrógeno (H^+) presentes en la solución del suelo. Los estudios realizados sobre la acidez han mostrado tres diferentes tipos de acidez presente en el suelo: la acidez real o activa, la acidez intercambiable y la acidez residual (BRADY y WEIL, 1999; BOHN *et al.*, 1993).

2.4.1 Acidez activa. La acidez activa o real del suelo está determinada por la concentración de iones hidrógeno (H^+) en la solución del suelo y más exactamente por la actividad que presentan estos iones (DOMINGUEZ, 1997). Es importante medir la acidez activa, ya que representa la capacidad real del efecto del ión H^+ en la solución del suelo, que es el medio en donde las raíces de las plantas y los microorganismos se encuentran expuestos. A pesar de su importancia, la acidez activa es más pequeña que la acidez intercambiable y la acidez residual (BRADY y WEIL, 1999). Para poder evaluar la acidez activa se debe realizar una medición potenciométrica con respecto a un electrodo (BOHN *et al.*, 1993).

2.4.2 Acidez intercambiable. Según lo señalado por ROWELL (1996), la acidez intercambiable corresponde a la sumatoria de la acidez activa más los iones H^+ que tienen la capacidad de ser intercambiados por otros cationes desde el complejo de intercambio del suelo. Esta acidez, además de considerar los iones H^+ , también considera los iones aluminio intercambiable, los que se encontrarían en grandes cantidades en suelos ácidos. Debido al intercambio catiónico estos iones pueden ser liberados a la solución del suelo, y para su determinación se utiliza una sal no taponada de KCl (BRADY y WEIL, 1999). Además, la acidez intercambiable sufrirá variaciones con el tipo de arcillas presentes, debido a la absorción no específica de cationes.

2.4.3 Acidez residual. Según BRADY y WEIL (2000), la acidez residual es la sumatoria de la acidez activa, la acidez intercambiable y toda la demás acidez producida por fuentes del suelo que no son intercambiables, entre las que se

encuentran los precipitados, reacciones de iones complejos, o adsorciones específicas de iones, iones de hidroxialuminio o iones de hidrógeno y aluminio que están retenidos por la materia orgánica y arcillas silicatadas en formas no intercambiables. La acidez residual se considera usualmente en la neutralización de la acidez del suelo realizada mediante el encalado y con ello contribuye al poder tampón de los suelos. BRADY y WEIL (1999), señalan que la acidez residual es mucho mayor que la acidez activa y la acidez intercambiable. Esta puede ser 1000 veces mayor que la acidez activa en un suelo arenoso y 50.000 o incluso 100.000 veces mayor en un suelo arcilloso y/o alto en materia orgánica.

2.4.4 Aluminio. El aluminio es el metal de mayor abundancia en la corteza terrestre, comprendiendo alrededor del 7% de su masa (FOY *et al.*, 1978 citado por DE LA FUENTE y HERRERA, 1999). El aluminio de esta manera es un constituyente importante del material mineral del suelo. No obstante, BOHN *et al.* (1993), indican que puede estar presente en distintas fracciones tales como: la fracción en solución, la fracción intercambiable, la fracción no intercambiable y la fracción en los minerales primarios y secundarios del suelo. A medida que los suelos van evidenciando un aumento en la acidez, se liberan a la solución formas fitotóxicas de aluminio (principalmente como Al^{3+}), y como la mayoría de las plantas se ven afectadas a concentraciones micromolares de aluminio elevadas, se vuelve esta toxicidad un factor que limita los niveles productivos de los cultivos en suelos ácidos (KINRAIDE, 1991).

2.4.4.1 Aluminio en la solución del suelo. Según señala MARCHNER (1995), el aluminio presenta una coordinación 6, o sea, tiene la posibilidad de enlazar con seis moléculas diferentes, debido a ello se encuentra rodeado principalmente de OH^- formando un octaedro. Al existir una disminución del pH, se van adhiriendo H^+ , en la periferia del octaedro, de esta manera el aluminio liberado desde los minerales del suelo a la solución del suelo bajo condiciones de acidez, o el aluminio en soluciones nutritivas a pH 4 y bajo éste, principalmente aparecen como $Al(H_2O)_6^{3+}$ (o también denominado Al^{3+}). Cuando el pH aumenta se forman productos como $Al(OH)_2^+$ y $Al(OH)^+$ y cerca del pH neutro se presenta como $Al(OH)_3^0$ o gibsita (precipitado) mientras que en condiciones de alcalinidad domina $Al(OH)_4^-$. La especie monomérica fitotóxica por excelencia es el Al^{3+} , la cual está presente en forma significativa en los suelos a partir del pH 5.0 (Figura 4).

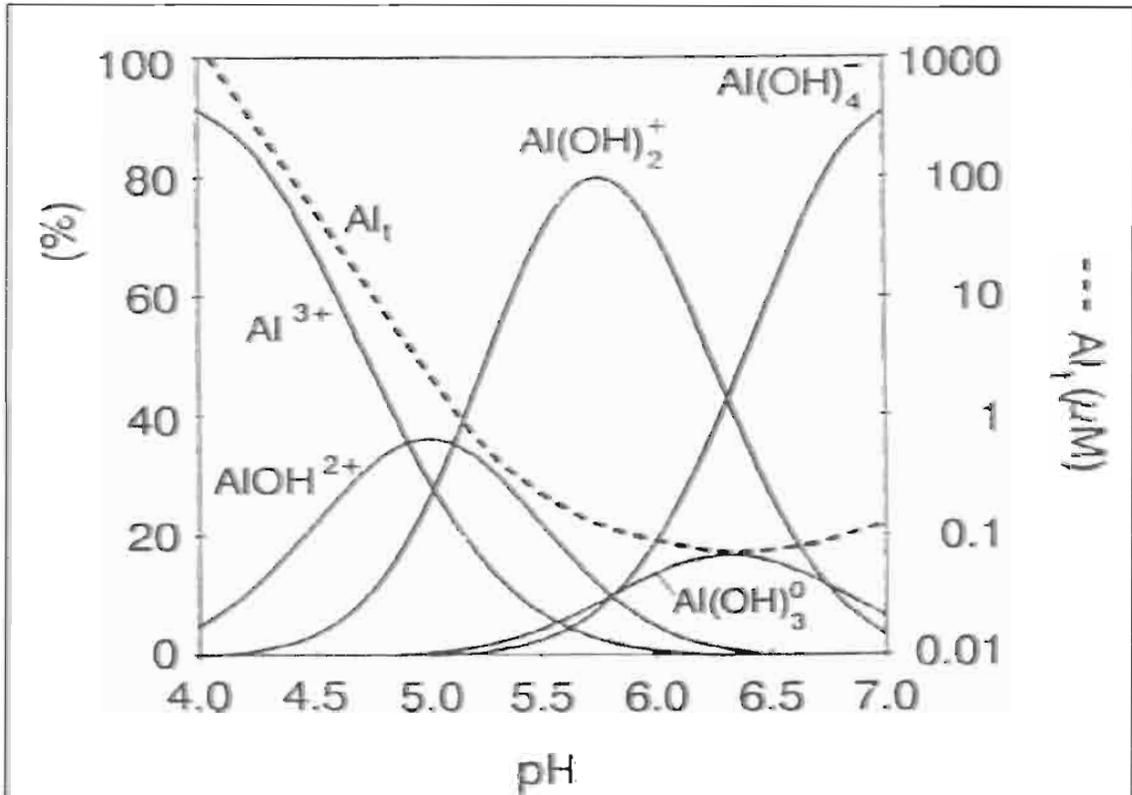


FIGURA 4 Actividad relativa de especies de aluminio y concentración total (Al_t) de aluminio soluble como una función del pH.

FUENTE: KINRAIDE (1991), adaptado por MARCHNER (1995).

2.4.4.2 Aluminio intercambiable. Según lo señalado por ROWELL (1996), el aluminio intercambiable corresponde al Al^{3+} adsorbido no específicamente en los sitios de intercambio y que se encuentra en equilibrio con el Al^{3+} en la solución del suelo. Además que el aluminio intercambiable es aquel que se ha logrado extraer con una solución neutra no taponada, siendo la más usada para este caso el KCl 1M. PINOCHET (2006), señala que el porcentaje de Al intercambiable en el suelo se correlaciona con el pH, presentando una relación del tipo exponencial a partir de los valores de pH menores a 5,5, además de estar relacionado directamente con el contenido e aluminio extractable que presenta cada suelo (Figura 5). MARSCHNER (1995), señala además que el aluminio intercambiable se correlaciona con la inhibición del crecimiento de las raíces de muchas especies de plantas, la cual puede no ser tan estrechamente asociada a las concentraciones, pero si a las especies de aluminio en solución de suelo que determinan la fitotoxicidad del aluminio hacia las raíces.

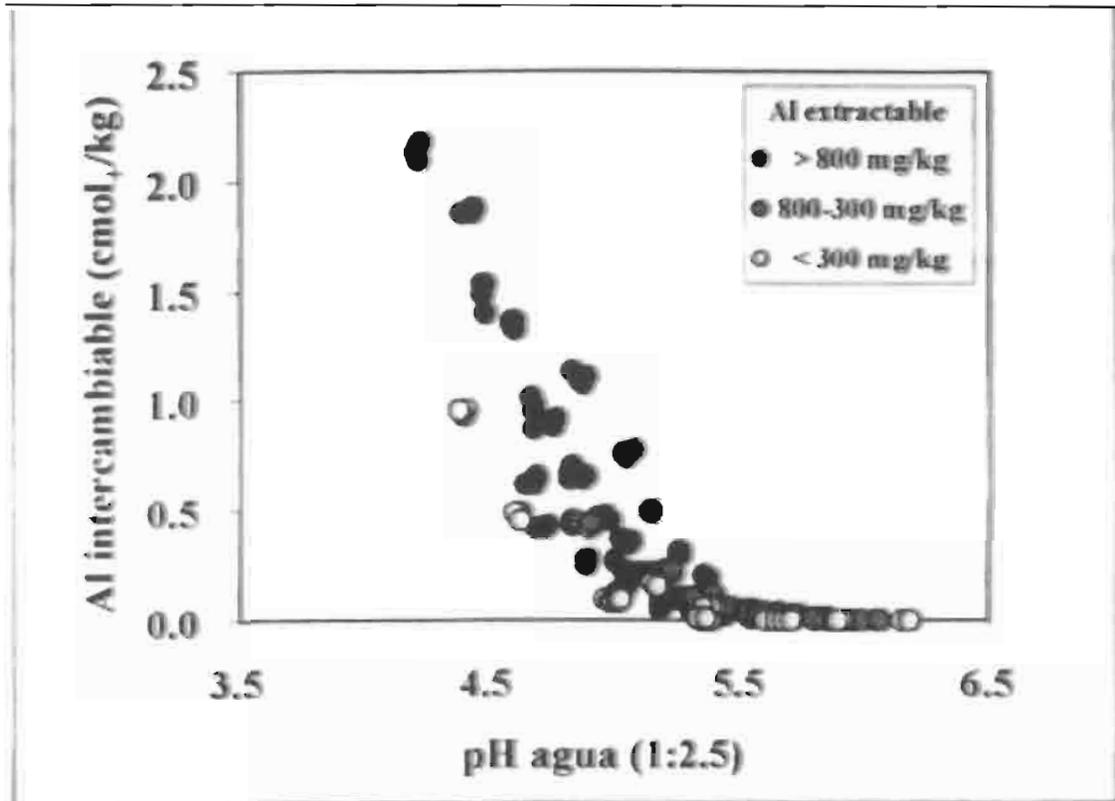


FIGURA 5 Relación entre el pH al agua y el contenido de Al intercambiable en diferentes tipos de suelos chilenos.

FUENTE: PINOCHET (2006).

2.4.4.3 Aluminio no intercambiable. El aluminio no intercambiable corresponde a hidróxidos de aluminio polimerizados que llevan cargas positivas, pero que no son intercambiables y óxidos hidratados de aluminio, en consecuencia este aluminio no intercambiable no tendría efectos sobre el crecimiento de las plantas (ROWELL, 1992).

2.4.4.4 Aluminio fitotóxico. La toxicidad por aluminio debe ser probablemente el factor más importante que puede limitar el crecimiento de las plantas en suelos ácidos (TISDALE *et al.*, 1993). Las concentraciones de aluminio fitotóxicos en soluciones de suelo menores a pH 5, por lo general se encuentran dentro de los límites en que la toxicidad por aluminio se da en las soluciones nutritivas (BLACK, 1975). Según lo señalado por DE LA FUENTE y HERRERA (1999), uno de los parámetros que primero se ve afectado por el exceso de aluminio es el crecimiento radical, pero al existir una mayor exposición al aluminio se pueden observar diferentes síntomas tanto en la parte radical como en la parte aérea de la planta.

Determinar los síntomas por toxicidad de aluminio puede llegar a ser un tanto difícil, ya que en algunas plantas los síntomas que se presentan pueden llegar a parecerse a los que se presentan cuando existen deficiencias en fósforo. En cambio en otras plantas se puede confundir la toxicidad por aluminio con la deficiencia en calcio. Se ha determinado de igual forma que las plantas poco tolerantes al aluminio puede presentar un sistema radical grueso y cortado, sin la presencia de raíces mas finas, las cuales son las encargadas de la absorción de agua y nutrientes (FOY *et al.*, 1978).

2.4.4.5 Estudios del aluminio sobre arándanos en suelos volcánicos. Según lo señalado por INOSTROZA (2011), la producción de arándanos ha experimentado un gran desarrollo en la zona centro-sur del país, en donde los suelos se caracterizan por presentar una alta acidez y en consecuencia altos niveles de aluminio fitotóxico (Al^{+3}) para las plantas. Debido a esta problemática, la Universidad de la Frontera (UFRO) durante los últimos años ha llevado a cabo estudios sobre la toxicidad de aluminio en genotipos de arándano cultivados en Chile. Es en este sentido que, REYES-DIAZ *et al.* (2009 y 2010), han realizado estudios acerca del estrés producido por el aluminio, a corto y largo plazo, sobre la fisiología y características bioquímicas de diferentes cultivares de arándanos altos. Encontrando como resultados que, la variedad Brigitta es una variedad de tolerancia media al aluminio, además señalan que los niveles tóxicos de aluminio para arándano depende del genotipo. De igual manera, han estudiado la forma de disminuir los efectos del aluminio sobre el arándano, mediante la aplicación de yeso ($CaSO_4$) como enmienda.

3 MATERIAL Y METODO

3.1 Materiales

A continuación se presentan los materiales que utilizados en la ejecución del estudio en cuestión.

3.1.1 Ubicación de los sitios de ensayos. El proyecto en el cual se enmarca este estudio cuenta con once huertos, de los cuales fueron utilizados cinco en el estudio sobre el aluminio en la nutrición del cultivo de arándano. A su vez, en estos cinco huertos se utilizaron once diferentes cuarteles. Los ensayos del estudio se ubicaron en la depresión intermedia de la XIV Región de Los Ríos y la X Región de los Lagos. En la Región de los Ríos los ensayos fueron establecidos en los sectores de Pelchuquín, Mariquina, Rapaco y La Unión y en la Región de los Lagos en un huerto ubicado en el sector de Purranque (Cuadro 2).

CUADRO 2 Ubicación e identificación de los diferentes sitios de ensayos.

REGION	SECTOR	HUERTO	CUARTELES
Los Ríos	Pelchuquín	A	2
	Mariquina	D	1
	Rapaco	B	3
	La Unión	C	3
Los Lagos	Purranque	E	2

3.1.2 Características edáficas de los sitios de ensayos. Los diferentes tipos de suelos utilizados para poder evaluar los niveles de Al intercambiable en la nutrición del cultivo de arándano, pertenecen a suelos derivados de cenizas volcánicas del sur de Chile (Cuadro 3). Los huertos denominados A y D presentan la serie de suelo Pelchuquín, el huerto B presenta la serie de suelo La Unión, el huerto C presenta la serie de suelo Río Bueno y el huerto E presenta la serie de suelo Osorno.

CUADRO 3 Clasificación de los diferentes sitios de ensayos.

SECTOR	HUERTO	SERIE DE SUELO	TIPO DE SUELO	CLASIFICACIÓN
Pelchuquín	A	Pelchuquín	Andisol	Eutric Fulvudans
Mariquina	D	Pelchuquín	Andisol	Eutric Fulvudans
Rapaco	B	La Unión	Inceptisol	Andic Dystrudepts
La Unión	C	Río Bueno	Andisol	Typic Durudands
Purranque	E	Osorno	Andisol	Typic Hapludands

FUENTE: Elaborado a partir de RODRIGUEZ (1989); CIREN (2003)

3.1.2.1 Serie Pelchuquín. Esta serie de suelo es miembro de la Familia media, métrica de los Eutric Fulvudands (Andisol), es una serie de suelo profunda formada por la depositación de ceniza volcánica, se ubica esta serie de suelos en la Depresión de San José, a una altura de 20 a 30 msnm. Dentro de algunas características de esta serie de suelos está su textura, la cual es del tipo franco limosa y de color pardo grisáceo, la densidad aparente que presenta es de $0,7 \text{ g/cm}^3$, la topografía presente en esta serie de suelos es casi plana con 1 a 3 % de pendiente, pero con buen drenaje. Algunas de las propiedades químicas que presenta son por ejemplo, su alta capacidad de retención de P, la cual está cercana al 95%, presenta además un contenido de materia orgánica de un 20%, aproximadamente (CIREN, 2003).

3.1.2.2 Serie La Unión. Esta serie de suelos es un miembro de la familia fina, mixta, métrica de los Andic Dystrudepts (Inceptisol), se ubica en los alrededores de la ciudad de La Unión. Esta serie de suelos se caracteriza por poseer suelos profundos, originados a partir de cenizas volcánicas, presentando lomajes en los primeros contrafuertes de la Cordillera de la Costa, la textura superficial que presenta es del tipo franco arcillo limosa, de color pardo oscuro en las estratas superficiales de suelo, la densidad aparente que presenta está cercana a los $0,9 \text{ g/cm}^3$, la topografía que presenta es suavemente ondulada con 5 a 8 % de pendiente y buen drenaje. Dentro de las características químicas, esta serie de suelo presenta un pH (H_2O) cercano a 5,8, una retención de P cercana al 70% y un (%) saturación de Al baja (CIREN, 2003).

3.1.2.3 Serie Río Bueno. Según lo señalado por CIREN (2003), esta serie de suelos es un miembro de la Familia media, métrica de los Typic Durudands (Andisol), la podemos encontrar en las proximidades de la ciudad de La Unión y Río Bueno. Algunas de las características físicas que presenta esta serie de suelo es que presenta una textura franco arcillo limosa y de color pardo a oscuro en superficie, la densidad aparente que posee esta en alrededor de un $0,60 \text{ g/cm}^3$, además presenta una topografía casi plana, con una pendiente 1 a 3% y un buen drenaje. Como principal propiedad química, presenta una elevada retención de P (98% aproximadamente).

3.1.2.4 Serie Osorno. Según lo señalado por CIREN (2003), esta serie de suelos es un miembro de la Familia media, métrica de los Typic Hapludand (Andisol), la podemos encontrar en posiciones de terrazas ubicadas en la Depresión Intermedia. Algunas de las características que presenta esta serie de suelo es que presenta una textura franco limosa y de color pardo oscuro en superficie, la densidad aparente que posee esta en alrededor de un $0,66 \text{ g/cm}^3$, además presenta una topografía de lomajes suaves y bien drenados. Además presenta una elevada retención de P.

3.1.3 Características químicas de los sitios de ensayos. Las características químicas iniciales que presentaron los diferentes cuarteles donde fueron establecidos los ensayos son presentados en el Cuadro 4, donde se presenta el valor de la concentración de Al intercambiable existente en los diferentes sitios de ensayo. La obtención de estos análisis químicos, se realizó mediante análisis de suelo a muestras (compuestas de 10 submuestras) recolectadas a 20 cm de profundidad mediante la utilización de un barreno. Estos muestreos fueron realizados al principio y al final de la temporada de cultivo.

3.1.4 Características climáticas de los sitios de ensayos. Los sectores de San José de la Mariquina, Pelchuquín y Purranque (agroclimas Mariquina y Purranque) 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 (agroclima La Unión) presentan un clima denominado mediterráneo frío, el cual presenta lluvias en la estación fría y sequía en la estación cálida, además posee inviernos rigurosos con muchas heladas, y la estación húmeda se concentra entre los meses de abril a noviembre (NOVOA y VILLASECA, 1989).

CUADRO 4 Características químicas en sitios de ensayos a fines de temporada.

HUERTO	CUARTEL	Variedad	Edad Productiva	pH (H ₂ O)	pHCa (CaCl ₂)	MO (%)	SB (Cmol.kg ⁻¹)	Al int	Sat Al (%)
A	A1	Briggitta	< 4 años	4,6	4,2	16,0	1,47	1,01	40,7
	A2	Elliott	< 4 años	4,1	4,1	18,0	0,98	0,22	17,9
B	B1	Briggitta	< 4 años	4,9	4,5	7,7	8,55	0,46	5,1
	B2	Briggitta	4-7 años	5,2	4,7	4,7	10,22	0,27	2,6
	B3	Elliott	4-7 años	5,1	4,5	6,0	7,34	0,84	10,2
C	C1	Briggitta	< 4 años	5,6	5,1	16,2	8,64	0,05	0,6
	C2	Elliott	> 7 años	5,5	5,0	14,0	7,02	0,03	0,5
	C3	Elliott	> 7 años	4,9	4,5	17,5	4,56	0,18	3,9
D	D1	Elliott	4-7 años	5,7	5,0	15,5	6,98	0,15	2,1
E	E1	Briggitta	4-7 años	4,8	4,4	11,7	6,92	0,68	8,9
	E2	Elliott	> 7 años	4,9	4,5	14,1	7,26	0,63	8,0

MO: materia orgánica; SB: saturación de bases; Al int.: aluminio intercambiable

En el Cuadro 5 se presentan antecedentes climáticos de los agroclimas: Mariquina, La Unión y Purranque, los que corresponden a temperaturas medias y precipitaciones promedio anuales.

CUADRO 5 Características climáticas de los sitios de ensayos.

Características climáticas	Agroclimas		
	Mariquina	La Unión	Purranque
Tma (°C)	11,9	11,6	10,9
Tº max media (°C)	17,0	23,7	21,4
Tº min media (°C)	6,8	s.i.	3,0
pp (mm)	2250,0	1267,0	1542,0

S.i.: sin información; Tma: Temperatura media anual; pp: precipitaciones

FUENTE: Elaborado en base a datos publicados por RODRIGUEZ (1989); NOVOA y VILLASECA (1989)

3.1.5 Variedades de arándanos. Dentro del país existen un gran número de variedades cultivadas de arándano, sin embargo las de mayor importancia económica son solo algunas. Para poder analizar el efecto del Aluminio intercambiable en el cultivo de arándano se consideraron dos variedades; Briggitta y Elliot, las cuales presentan hábito de crecimiento semitardío y tardío, respectivamente. Ambas variedades representa a nivel nacional aproximadamente un 60% de la producción total (SANCHEZ, 2006). Estas variedades se encontraban distribuidas dentro de los diferentes sitios de ensayos (Cuadro 4). Las edades productivas de los cuarteles estudiados son: huertos en plena producción (>7 años), huertos con rendimientos crecientes (4-7 años) y los huertos de formación o nuevos (<4 años).

3.2 Métodos

La metodología utilizada para el establecimiento de los ensayos, la toma de muestras y el análisis de estas muestras, es descrita a continuación.

3.2.1 Duración de los ensayos Los ensayos fueron realizados entre Septiembre de 2009 y Abril de 2010, periodo que corresponde desde el momento de floración hasta el final de cosecha, en una temporada de producción.

3.2.2 Diseño experimental de los ensayos. Para llevar a cabo el diseño experimental, se determinaron diferentes unidades experimentales en los diferentes cuarteles destinados para la ubicación de los ensayos. Para el análisis del aluminio intercambiable se dispuso de once unidades experimentales, con diferentes niveles de concentración de aluminio, que comprenden desde menores a mayores niveles de disponibilidad de aluminio intercambiable del suelo, presentes en los diferentes cuarteles de estudio. Cada unidad experimental fue sometida a 2 tratamientos; tratamiento con corrección y sin corrección del aluminio intercambiable del suelo. Cada tratamiento contó con 3 repeticiones. El tratamiento sin corrección o tratamiento testigo, presentó los niveles actuales de aluminio que poseía cada sitio de ensayo (donde existen rangos bajos, medios y altos), y en el segundo tratamiento con corrección del nivel aluminio intercambiable (mediante enmienda calcárea). Para el establecimiento del ensayo se utilizaron 60 plantas (divididas en repeticiones de 10 plantas). La mitad fue utilizada para el tratamiento testigo (3 repeticiones) y la otra mitad para el tratamiento de corrección (3 repeticiones). Estas plantas estuvieron

además aisladas por hileras de borde y plantas de separación, las cuales permiten evitar interferencia de un tratamiento con otro. En los sectores en donde se establecieron los ensayos se buscaron sectores que faciliten la instalación de válvulas para que el sistema de riego del huerto no afectara los ensayos, debido al uso de fertirrigación en los huertos utilizados. Este diseño experimental se puede observar en la Figura 6.

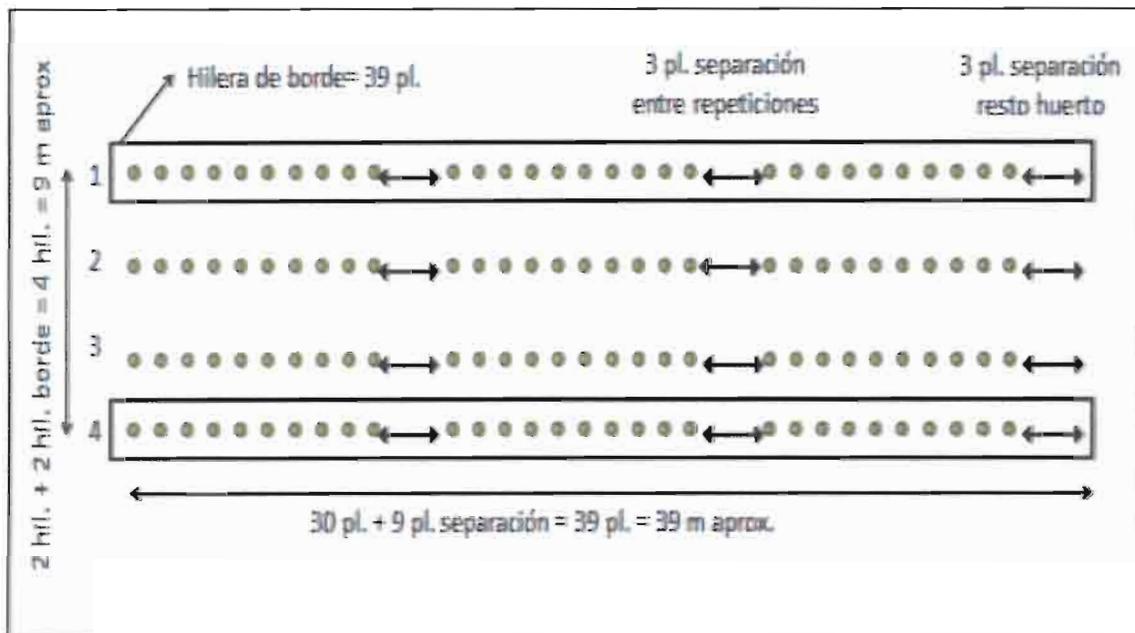


FIGURA 6 Diseño experimental de los ensayos establecidos para analizar los diferentes parámetros a evaluar.

3.2.3 Niveles de fertilidad de los sitios de ensayos. Para que los sitios estudiados presentaran como única limitante elemento de estudio, aluminio intercambiable, se realizaron fertilizaciones de corrección, de manera que todos los sitios tuvieran el mismo nivel de nutrientes. Los niveles a alcanzar con la fertilización de corrección fueron establecidos en base a niveles propuestos para otros frutales, los cuales fueron los siguientes: 30 mg kg^{-1} de P Olsen, 200 mg kg^{-1} de K intercambiable, 25 mg kg^{-1} de S extractable, $2,5 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de Ca, $1 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de Mg, $2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe extractable, $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu extractable y 1 mg kg^{-1} (ppm) para el resto de micronutrientes. La fertilización de corrección se realizó mediante la aplicación en cobertera y la cantidad de elementos aplicado fue establecido para cada uno de los cuarteles, de manera que alcanzaran los niveles propuestos.

3.2.4 Toma de muestras. Las diferentes muestras recolectadas se obtuvieron mediante muestreos de suelos, muestreos foliares y muestreos de frutos.

3.2.4.1 Muestreos de suelos. Se realizaron dos muestreos de suelo durante la temporada en que fueron realizados los ensayos. El primer muestreo se realizó antes de establecer los ensayos en los diferentes cuarteles, para determinar las concentraciones iniciales de nutrientes y el segundo muestreo se realizó a fines de temporada en ambos tratamientos. Las muestras de suelo fueron tomadas de 0 – 20 cm de profundidad (cada muestra estaba conformada por 10 submuestras). Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile (UACH).

3.2.4.2 Muestreos foliares. Las muestras foliares fueron recolectadas de las plantas del tratamiento testigo o tratamiento sin corrección de Aluminio intercambiable. Se recolectaron 100 hojas, (10 hojas por planta) en cada una de las repeticiones. Las hojas fueron recolectadas en el tercio medio de las ramillas que provenían de los brotes del año. Los muestreos fueron realizados a partir del mes de diciembre de 2009 hasta abril de 2010 (15 de diciembre, 5 de enero, 25 de enero, 15 de febrero, 9 de marzo y 13 de abril), en diferentes estados fenológicos (frutos verdes, frutos maduros y hasta detención del crecimiento vegetativo)

3.2.4.3 Muestreo de frutos. Cuando los diferentes huertos se encontraban en su máxima producción se recolectaron 3 muestras (M0, M20 y M40) en cada una de las repeticiones, para su posterior análisis a la cosecha, 20 y 40 días de postcosecha, respectivamente. Inmediatamente después de la cosecha se depositaron en un recipiente para control de temperatura hasta su traslado al laboratorio, para su posterior análisis.

3.2.5 Determinación de rendimiento. Para la obtención de los datos de rendimiento, se cosecharon todos los frutos obtenidos en la temporada en cada tramianeto, tanto los de la categoría exportable como los frutos de descarte (IQF), según lo establecido por cada huerto en particular. Se consideraron ambas categorías para la determinación del rendimiento total y se pesaron los frutos, registrando los pesos obtenidos durante la temporada de ensayos. Los rendimientos obtenidos en los diferentes huertos son presentados en el Anexo 2.

3.2.6 Determinación de rendimiento relativo. Para la determinación del rendimiento relativo se utilizaron los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos (con y sin corrección de Al). Se obtuvo un cociente (rendimiento relativo) entre los rendimientos promedio de ambos tratamientos, en cada unidad experimental por separado. El cociente se observa de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento relativo: } \frac{\text{Rendimiento sin corrección Al}}{\text{Rendimiento con corrección Al}}$$

3.2.7 Procesamiento y análisis de las muestras. Los procedimientos y análisis empleados a las diferentes muestras recolectadas se realizaron en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile.

3.2.7.1 Análisis de muestras de suelo. Mediante el análisis de las diferentes muestras de suelo se determinó la concentración de aluminio intercambiable de cada uno de los huertos. La determinación de aluminio intercambiable se realizó mediante la extracción con una solución de cloruro de potasio 1 M y medidos por un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) con llama de óxido nitroso-acetileno, descrita por SADZAWKA *et al.* (2006b). Los niveles de aluminio intercambiable determinados se presentan en el Anexos 1 y 3.

3.2.7.2 Análisis de muestras foliares. La concentración aluminio se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con llama de óxido nitroso-acetileno por aspiración directa, metodología descrita por SADZAWKA *et al.* (2007). Las concentraciones foliares obtenidas se presentan en el Anexo 4.

3.2.7.3 Almacenamiento y análisis de calidad en frutos. Las condiciones de almacenamiento y los análisis realizados en frutos para la evaluación de los parámetros de calidad son descritos a continuación.

3.2.7.3.1 Almacenamiento de las muestras. Las muestras recolectadas para los análisis al momento de la cosecha (M0), se dejaron en el laboratorio a temperatura ambiente, para que su temperatura disminuyera a 15°C, siendo analizadas al día siguiente. Las muestras destinadas para el análisis de 20 días postcosecha (M20) y 40 días postcosecha (M40), se guardaron inmediatamente en cámara de frío, a 0°C y 95%

de humedad relativa, para simular las condiciones de transporte de arándanos de exportación. Posteriormente, se retiraron de la cámara de frío para llegar a temperatura ambiente (15°C), para su análisis.

3.2.7.3.2 Análisis de calidad en frutos. Se evaluaron diferentes parámetros de calidad. El calibre y peso de los frutos fueron evaluados sólo a la cosecha (M0), mientras que el tipo de fruto, la firmeza y razón entre sólidos solubles y acidez titulable fueron medidos a la cosecha, 20 y 40 días de postcosecha (Anexo 5). A continuación se detallan las diferentes metodologías utilizadas para el análisis de cada uno de los parámetros de calidad.

- Calibre: **Se registró el número total de frutos y se midió el calibre (pie de metro)** de cada uno de ellos, agrupándolos en rangos; < 10 mm, 10 – 15 mm, 15 – 20 mm, 20 – 25 mm y > 25 mm, según diámetro ecuatorial. Se obtuvo así la frecuencia de frutos en cada categoría de calibre, frecuencia que para los análisis estadísticos se transformó en frecuencia relativa y posteriormente en porcentaje. Se determinó también el calibre modal en cada unidad experimental.
- Peso: Se registró el peso de los frutos obtenidos en cada rango de calibre, por separado, mediante balanza digital. El peso individual promedio de los frutos de acuerdo al calibre modal, se obtuvo mediante el promedio de 5 frutos tomados al azar dentro de la muestra, para cada una de las repeticiones.
- Tipo de fruto: La determinación del tipo de frutos se realizó a través de análisis manual y visual de los frutos del calibre modal, existiendo 6 categorías; 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 diferencias entre tratamientos.
- 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 (Durofel DFT 100) para frutas pequeñas. El instrumento entregó como resultado el

promedio de 10 mediciones, expresado en grados Durofel (presión ejercida en kg cm^{-2}), y el coeficiente de variación.

- Razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable. Se midió la concentración de sólidos solubles de una muestra de jugo de 60 frutos con un refractómetro digital, el cual entregó los resultados en °Brix (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.

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

Con el valor del contenido de ácido cítrico y sacarosa, se calculó la razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable:

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

3.2.8 Análisis estadísticos de datos. A continuación se presenta la metodología utilizada para determinar el nivel crítico de aluminio intercambiable del suelo, la concentración crítica de aluminio en el tejido foliar a través del tiempo, y el efecto de aluminio del suelo sobre los parámetros de calidad de frutos. Los análisis de datos se realizaron con el software GraphPad Prism (Ve 5.01) y Microsoft Office Excel (2003).

3.2.8.1 Nivel crítico de aluminio intercambiable en el suelo. Se analizó la relación entre el nivel inicial de aluminio intercambiable de suelo, con el rendimiento relativo obtenido de cada una de las unidades experimentales. Para determinar la concentración de aluminio que estaría afectando el rendimiento de arándanos. Además se analizaron los datos para determinar el efecto del aluminio intercambiable sobre la variedad y la edad productiva. La determinación del valor crítico se obtuvo mediante la división de la gráfica en 4 cuadrantes, formados por la horizontal trazada cuando se

sobrepasa el 90% de rendimiento y la vertical que separa los sitios que presentan menores niveles de aluminio intercambiable de los que presentan mayores valores.

Los sitios que presentaron niveles de aluminio intercambiable inferiores al nivel crítico determinado se denominaron "menores niveles de Al", y los que contenían niveles superiores a este nivel crítico se denominaron "mayores niveles de Al".

3.2.8.2 Determinación de la concentración crítica en el tejido y momento óptimo de muestreo foliar. La determinación de la concentración foliar crítica se realizó mediante una regresión lineal, entre el nivel de aluminio intercambiable del suelo y en el nivel de aluminio en el tejido. Se analizó la correlación existente en el total de las unidades experimentales y también según variedad de arándano establecida en cada una de las unidades experimentales.

Para la determinación del momento óptimo de muestreo foliar, primero se determinó la concentración promedio de aluminio en el tejido foliar de los cuarteles con "menores niveles de Al" y con "mayores niveles de Al", en forma separada, en cada una de las fechas establecidas. Este análisis se realizó para cada una de las variedades en particular, utilizando tres niveles con menores niveles y dos con mayores niveles de Al para el análisis de la variedad Elliot, y dos niveles con menores niveles y dos con mayores niveles de Al para el análisis de la variedad Briggitta. De esta manera, se determinó en qué fecha se presenta la mayor diferencia en la concentración foliar de aluminio entre sitios con menores y mayores niveles de aluminio intercambiable del suelo. Para analizar diferencias entre los sitios con menores y mayores niveles de aluminio intercambiable, se realizaron pruebas estadísticas: ANDEVA y test de Tukey, a través de las cuales se determinó si hubo diferencia entre las medias de las concentraciones de Al foliar encontradas en los momentos de mayor diferencia de estas concentraciones.

3.2.8.3 Evaluación de los parámetros de calidad de fruto. Se determinó si existía un efecto de los menores y mayores niveles de aluminio intercambiable el suelo sobre los parámetros de calidad de frutos (calibre, peso, tipo de fruto, firmeza y razón sólidos solubles/acidez titulable), mediante la comparación de los resultados entre los sitios de estudio con menores y mayores niveles de aluminio intercambiable del suelo. El análisis estadístico se realizó mediante test de t de Student.

Para los parámetros de peso, firmeza y razón entre los sólidos solubles y la acidez titulable, se analizó además la correlación entre todos los niveles de aluminio encontrados en el estudio y los resultados de la medición de cada parámetro de calidad, mediante gráfico de dispersión.

4 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Relación entre el aluminio intercambiable y el rendimiento relativo de arándanos

El objetivo de este estudio es determinar la variación del rendimiento relativo de arándano con diferentes niveles de aluminio intercambiable del suelo, en dos variedades cultivadas, Brigitta y Elliot, en suelos volcánicos del Sur de Chile.

4.1.1 Determinación del nivel crítico de aluminio intercambiable en el suelo para la producción de arándano. Los resultados obtenidos de la relación entre el aluminio intercambiable en el suelo y el rendimiento relativo, se muestran en la Figura 7.

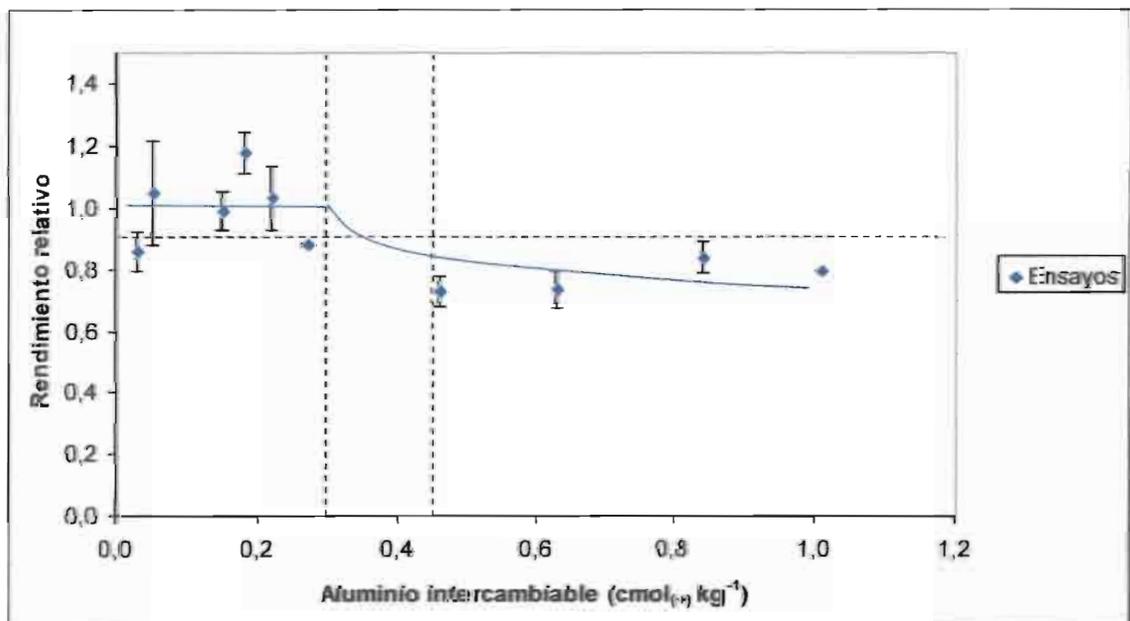


FIGURA 7 Rendimiento relativo obtenido bajo diferentes concentraciones de disponibilidad de aluminio intercambiable en el suelo en los diferentes sitios de ensayo.

En la figura se muestra que, en la medida que el valor de la concentración de aluminio intercambiable aumentó disminuyeron los valores de rendimiento relativo de arándano en los diferentes sitios de ensayo y esto, se hace más evidente, a partir de un rango de concentraciones de Al intercambiable en el suelo.

Gráficamente se muestra que existió una gran dispersión de datos. Sin embargo, la línea de tendencia ajustada a los datos de los diferentes cuarteles de estudio muestra que a partir de un valor relativamente constante, presenta una pendiente negativa. Esto significa que existe una disminución en los rendimientos a medida que aumentó la disponibilidad de aluminio intercambiable en el suelo. Es decir, existe una relación inversa. El gráfico permite sugerir que existe un rango de concentraciones donde puede encontrarse el punto de inflexión. Esta zona se encontraría entre 0,30 y 0,45 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$, mostrando que cuando se sobrepasa este rango disminuye el rendimiento productivo de los arándanos evaluados. Tomando como aproximación la concentración de Al intercambiable, en la cual se ubica el punto de intersección de la línea de regresión y la horizontal trazada, cuando se alcanza un 90% del rendimiento máximo, el valor de Al intercambiable crítico sería 0,35 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$. Con este valor crítico se dividió la gráfica en 4 cuadrantes, bajo los cuales se analiza la información. Cuando se sobrepasa este nivel de aluminio en el suelo, los rendimientos relativos se ven afectados, estableciéndose en valores cercanos al 70-80% del rendimiento máximo (o control sin Al). También se puede observar que en la medida que las concentraciones de aluminio siguen en aumento, por sobre los 0,35 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$, después de una bajada en rendimiento inicial, no existe una mayor disminución en los rendimientos del cultivo, manteniéndose los valores de rendimientos relativos sin gran variación. Para ratificar estos resultados se requieren de nuevos ensayos de respuesta del arándano al Aluminio intercambiable en los suelos, específicamente en la respuesta por sobre y bajo el nivel crítico propuesto en este estudio preliminar de un año. Una evaluación de segundo año, permitirá ratificar o rectificar el valor propuesto.

Las diferencias entre los valores de rendimiento relativo de arándano mostrados en la Figura 7, se pueden observar cuando se presentan los resultados diferenciados bajo el sistema de cuadrantes y nivel crítico, como muestra la Figura 8. Es así que, a medida que los niveles de aluminio intercambiable son bajos, esto es $< 0,35 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$, se tiene una mayor concentración de datos en los valores cercanos a 100% del rendimiento relativos potenciales. Por el contrario, cuando los valores de disponibilidad de aluminio intercambiable son $> 0,35 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$, los rendimientos relativos se ven disminuidos. Estos valores constituyen una primera aproximación y podrían presentar alguna variación en estudios de temporadas posteriores en diferentes sitios de estudio.

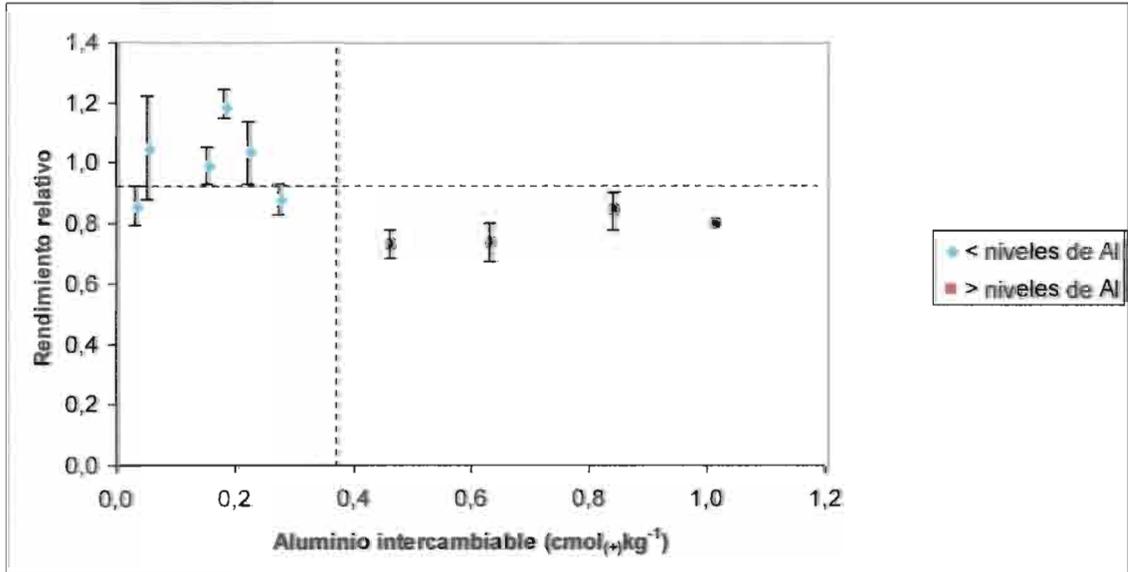


FIGURA 8 Relación directa entre los sitios de ensayo que presentaban **bajos y altos niveles de Al intercambiable** en relación a los rendimientos relativos.

Prácticamente no existen estudios que muestren relaciones entre el aluminio intercambiable en el suelo y su efecto sobre el rendimiento en cultivo de arándanos. Mucho más difícil es encontrar referencias para suelos de origen volcánico, a pesar de un interés reciente en realizar investigaciones en estos suelos (REYES-DIAZ *et al.*, 2009). El Aluminio como elemento fitotóxico ha sido reconocido para la mayoría de las especies frutales, mostrando que existe una disminución en los rendimientos y en la sobrevivencia de las plantas, tal como ha sido mostrado por SUZUKI *et al.* (1999), quienes señalan que altas concentraciones de Al en las partes aéreas de las plantas inhiben el crecimiento de plantas de arándanos, lo cual estuvo asociado a una mayor disponibilidad del Al en el suelo.

BOHN *et al.* (1993), indican que el aluminio en el suelo es uno de los constituyentes principales de su matriz, en conjunto a Si, O y H. En solución se encuentra en diversas especies de hidróxidos de Al. La especiación depende del pH de la solución que presente el suelo (KINRAIDE, 1991). Por ello, que en los suelos de ligera acidez hacia alcalinos no se encuentra mayormente como Al^{+3} o $Al(H_2O)_6^{+3}$ (especie fitotóxica principal), sino formando complejos, monómeros y polímeros de Al. De esta manera, MARSCHNER (1995) señala que altas concentraciones de Al^{+3} presentes en el suelo,

representan un factor limitante de gran importancia para el crecimiento y rendimiento de cultivos que se desarrollan en suelos de condición ácida ($\text{pH} < 5.5$). En condiciones de suelos volcánicos, RADIC (2004), analizó el efecto producido por el aluminio en condiciones de campo sobre tres diferentes poáceas forrajeras; ballica (*Lolium perenne* Phill.), bromo (*Bromus valdivianus* L.) y pasto dulce (*Holcus lanatus* L.), obteniendo como resultados que el aluminio afectaba los rendimientos de las tres variedades analizadas, aunque la especie ballica presentó las mayores pérdidas de producción cuando existió una mayor disponibilidad de aluminio en el suelo. Más recientemente, en el trabajo realizado por VALLE *et al.* (2009) en el cultivo de trigo, se analizó el efecto del aluminio intercambiable presente en un andisol y sus efectos en el rendimiento de trigo en dos variedades de trigo (Al- tolerante y Al-sensible); este estudio, muestra que existe un efecto cuantitativo sobre el rendimiento de trigo, afectando negativamente al rendimiento cuando existía en el suelo un aumento en la concentración de aluminio intercambiable.

Los valores críticos de aluminio intercambiable que afectan el rendimiento en el cultivo de arándanos no están establecidos. No obstante, existe información para otros cultivos en suelos volcánicos. En el trabajo presentado por VALLE *et al.* (2006), se establece un valor crítico cercano a $0,50 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ para trigo, encontrándose que en un cultivar sensible de trigo se observó una disminución en el rendimiento a partir de $0,40 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ y valores por sobre $0,60 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ afectarían el rendimiento en un cultivar tolerante de trigo, lo que establece que existen diferencias varietales con respecto a la respuesta de aluminio tóxico.

4.1.2 Evaluación de la respuesta de la variedad de arándano a diferentes niveles de aluminio intercambiable en el suelo. Para esta evaluación se consideraron dos variedades de arándanos cultivadas ampliamente en la Zona Sur de Chile, las variedades Brigitta y Elliot, las cuales presentan épocas de producción semitardía y tardía, respectivamente. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Figura 9.

Los rendimientos obtenidos en los sitios de ensayo muestran que ambas especies, prácticamente, presentaron un patrón similar de respuesta de rendimiento a los diferentes niveles de aluminio intercambiable evaluados. De esta manera, en la Figura 9, se muestra que ambas variedades, Brigitta y Elliot, disminuyeron sus rendimientos cuando se sobrepasó la concentración de Al intercambiable de $0,35 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$,

propuesta en este estudio. Los resultados sugieren que ambas variedades no vieron afectado en gran medida sus rendimientos, cuando aumentó la concentración de Al intercambiable en el suelo, en el rango estudiado. Un comportamiento posterior distinto al nivel crítico podría señalar una tolerancia diferencial entre variedades de arándanos. Así, algunas disminuirían más que otras con el mismo nivel de Al en el suelo, como ha sido mostrado en otras especies gramíneas y brásicas (PINOCHET *et al.*, 2011).

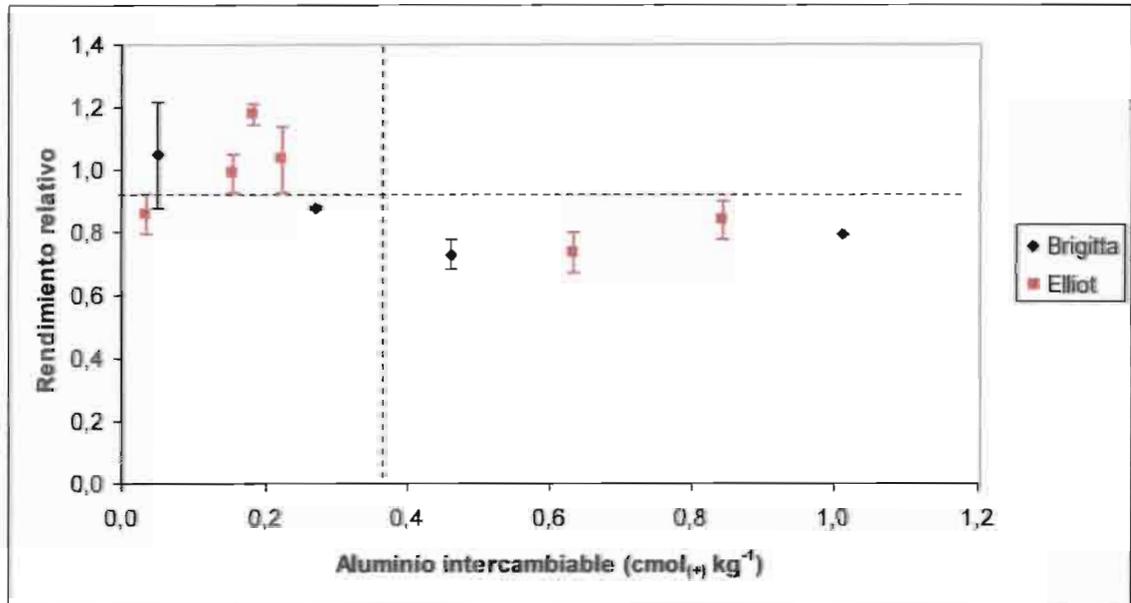


FIGURA 9 Efecto del aluminio intercambiable en el rendimiento relativo de dos variedades de arándanos, Brigitta y Elliot, variedades tardía y semitardía respectivamente. (Barras de error corresponden al error estándar)

Una tolerancia diferencial al aluminio en arándanos ha sido sugerida, recientemente, por REYES-DIAZ *et al.* (2009), en suelos volcánicos. Ellos, utilizando información obtenida de ensayos realizados en los diferentes sitios, analizaron la tolerancia al estrés por Al en tres variedades de arándanos (Brigitta, Legacy y Bluegold) en un periodo corto de tiempo, encontrando como resultado que, de las tres variedades analizadas, Brigitta fue el cultivar que presentó una mayor tolerancia al Al. Estos resultados concordarían con nuestros resultados, ya que Brigitta se mostró relativamente tolerante, al menos en el rango evaluado. Además, los autores encontraron que esta variedad, presenta mayores concentraciones de aluminio en sus raíces y hojas con respecto a las otras dos variedades analizadas. Posteriormente REYES-DIAZ *et al.* (2011), en otro estudio sobre las mismas tres variedades de

arándano, pero en un período mas largo de tiempo, señalan que la variedad Brigitta no sería considerado un cultivar muy tolerante. Ellos corrigen su apreciación inicial, debido al comportamiento de la variedad a un mayor tiempo de exposición al aluminio, indicándola como una variedad de tolerancia media al estrés por aluminio en el suelo. Sin embargo, en los estudios realizados por estos autores no se ha incluido a Elliot, dentro de las variedades analizadas.

De esta manera al existir estudios realizado sobre la variedad Brigitta y no encontrarse información sobre la variedad Elliot, y al presentar los mismos patrones de respuesta a las diferentes concentraciones de aluminio en le suelo, ambas variedades pertenecerían a cultivares de tolerancia media al estrés por aluminio. Así se podría explicar el menor efecto de altas concentraciones de Al intercambiable, presentadas en este estudio.

4.1.3 Efecto del aluminio intercambiable en el rendimiento relativo de arándanos en diferentes edades productivas. Para el análisis de este parámetro se utilizaron todos los sitios de ensayo, con sus respectivas edades productivas. Los datos que se obtuvieron de este análisis se observan en la Figura 10.

Las edades de los huertos analizados se dividieron en tres segmentos: <4 años, 4-7 años y >7 años. Los resultados obtenidos revelan gráficamente que el efecto de una mayor concentración de aluminio intercambiable en el suelo afecta de igual manera los rendimientos relativos, independientemente de las diferentes edades productivas. De esta manera, se sugiere que el aluminio intercambiable en el suelo afectará el normal desarrollo del arándano en cualquier época de producción en la que se encuentre.

No existen estudios previos en arándanos que puedan sustentar los resultados obtenidos en este estudio. Por su parte, ROUT *et al.* (2001), en su revisión, señalan que independientemente de la edad productiva, el aluminio tóxico interfiere con la división celular en las raíces de las plantas, lo que afecta la respiración y el ingreso y uso de agua y nutrientes causando una reducción en el rendimiento de los diferentes cultivos.

Estudios con respecto a edades productivas se han realizado en algunas otras especies frutales. En un estudio realizado por SERRANO *et al.* (2003) en el cultivo de

bananas, se analizaron las concentraciones de Al^{+3} en el suelo, en cultivos de diferentes edades productivas.

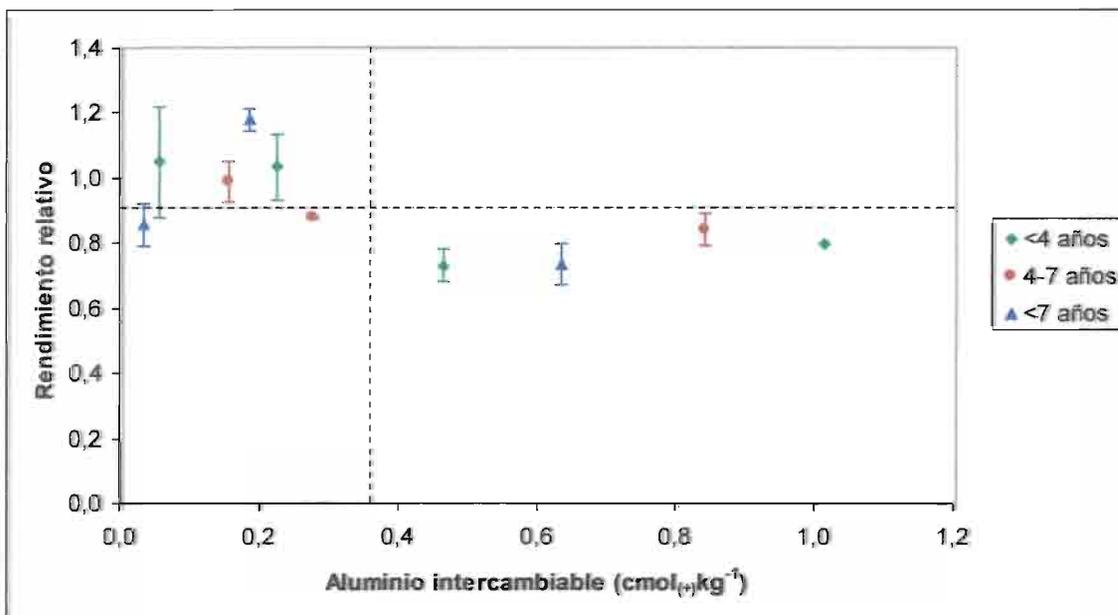


FIGURA 10 Diferencias en la respuesta a diferentes concentraciones de Al intercambiable sobre arándanos en diferentes etapas productivas.

Obteniendo como resultado que las concentraciones de Al^{+3} aumentaban conforme las condiciones de pH disminuían y, esto fue coincidente con la mayor edad del cultivo en producción. Este efecto fue reportado debido principalmente al uso de fertilizantes acidificantes, la pluviometría y la no adición de enmiendas calcáreas, por lo que existe una pérdida de rendimiento en el cultivo de bananas conforme aumentan las edades productivas. Sin embargo, en este estudio no se analizó el efecto de las mismas concentraciones de Al^{+3} sobre las diferentes edades productivas. Solo se muestra la asociación entre edad y mayor acidificación. Este estudio concuerda con éste trabajo, ya que señala que existe un efecto en la productividad cuando mayor es la concentración de Al intercambiable del suelo.

4.2 Concentración foliar de aluminio en arándanos y su relación con el rendimiento relativo

El objetivo de este estudio es analizar los efectos del aluminio intercambiable a nivel foliar en dos variedades cultivadas en suelos volcánicos de Sur de Chile. Los

resultados obtenidos al analizar la relación entre la concentración foliar de aluminio y el rendimiento relativo de arándanos, se presenta en la Figura 11.

En la Figura 11, se puede observar que existió una gran dispersión de datos. En la medida que la concentración foliar de aluminio aumentó, los rendimientos relativos de arándanos presentaron una mínima tendencia a disminuir. Esta relación se puede apreciar en el ajuste lineal de los datos. No obstante, debido a que, para un mismo valor de concentración foliar de aluminio en las hojas, se presentaron diferentes rendimientos relativos, no se puede aseverar que existe una relación significativa entre ambas variables. De esta manera, no se pudo establecer una concentración foliar crítica en este año de evaluación.

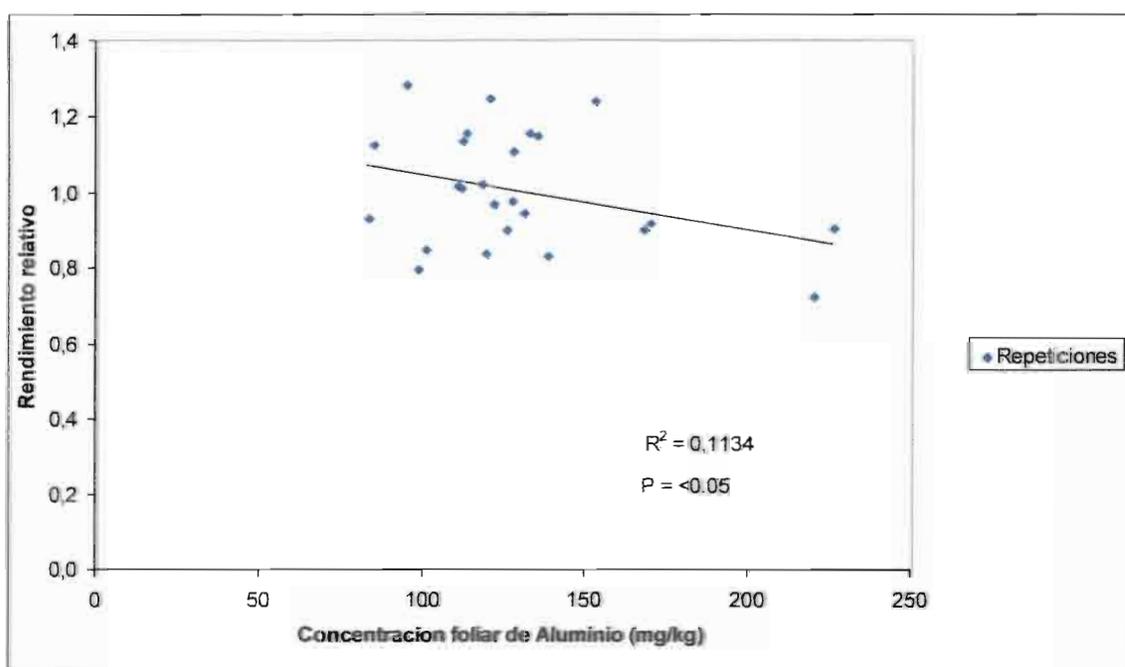


FIGURA 11 Efecto de la concentración foliar de aluminio sobre el rendimiento relativo en arándanos.

Sin embargo, existen algunos estudios que estarían señalando diferentes valores críticos para las concentraciones foliares de aluminio en arándanos y que afectarían el rendimiento relativo de éste.

Debe considerarse que los valores de concentración foliar para un cultivo variarán dependiendo de diferentes factores, entre los que se incluyen las diferentes regiones de cultivo, tipo de suelo, prácticas de manejo y la evolución del sistema monocultivo,

entre otras (SANDERSON *et al.*, 2008). En lo que respecta al cultivo de arándano BALLINGER Y GOLLSTON (1967) citado por SPIERS (1990), señalan que la especie *Vaccinium corymbosum* L. creciendo en condiciones de campo presentó niveles foliares de aluminio de hasta de 445 mg kg^{-1} , no existiendo evidencia de pérdidas de crecimiento en el cultivo. Por otro lado, PETERSON *et al.* (1987), señalan que para *Vaccinium virgatum* L. concentraciones por sobre los 317 mg kg^{-1} pueden indicar problemas de crecimiento y por ende, pérdidas de rendimiento en el cultivo. Queda en evidencia que no existe un consenso en el valor crítico de la concentración de aluminio a nivel foliar. Es por ello que, en general se plantea en USA (Georgia) que los niveles de aluminio indeseables en las plantas se presentan en dos diferentes niveles, estos son $> 200 \text{ ppm}$ en tejidos jóvenes o $> 400 \text{ ppm}$ en plantas maduras y hojas.

Como resultado de este estudio y debido a la variación de valores críticos de concentración de aluminio foliar que entregan diferentes autores y a la poca investigación de este elemento en el cultivo de arándano, se hace difícil establecer un valor crítico a nivel foliar para los arándanos cultivados en la zona Sur de Chile que afecten el rendimiento. Sin embargo, al encontrarnos con valores de concentraciones foliares de aluminio inferiores en nuestros ensayos a las establecidas en USA, podríamos considerar estos valores como críticos también en nuestra zona. De esta manera, se hace necesario realizar un estudio más prolongado para establecer los reales niveles críticos de aluminio a nivel foliar que afectaran los rendimientos de los arándanos que se cultivan en suelos de origen volcánicos.

4.3 Efecto del aluminio intercambiable del suelo sobre la concentración foliar de aluminio en dos variedades de arándanos

El objetivo de este análisis se enfoca principalmente en determinar cual es la relación que existe entre el aluminio intercambiable del suelo y la concentración foliar, y de esta forma poder establecer si existe algún mecanismo de resistencia del cultivo de arándano cuando se encuentra expuesto a altas concentraciones de aluminio intercambiable en el suelo.

Los resultados obtenidos de este estudio se encuentran en la Figura 12. La falta de correlación entre el nivel de Al foliar y el nivel de Al intercambiable en el suelo puede indicar posibles mecanismos de tolerancia por exclusión o presencia del Al acumulado

en otros órganos al interior de la planta. VARDAR y ÜNAL (2007), indican que los mecanismos fisiológicos de resistencia al aluminio pueden ser mediados por la vía de exclusión de Al desde los ápices radicales o por la vía de tolerancia intracelular del Al transportado al interior del simplasma de las plantas. De esta forma, es posible que el Al absorbido no llegue a las hojas.

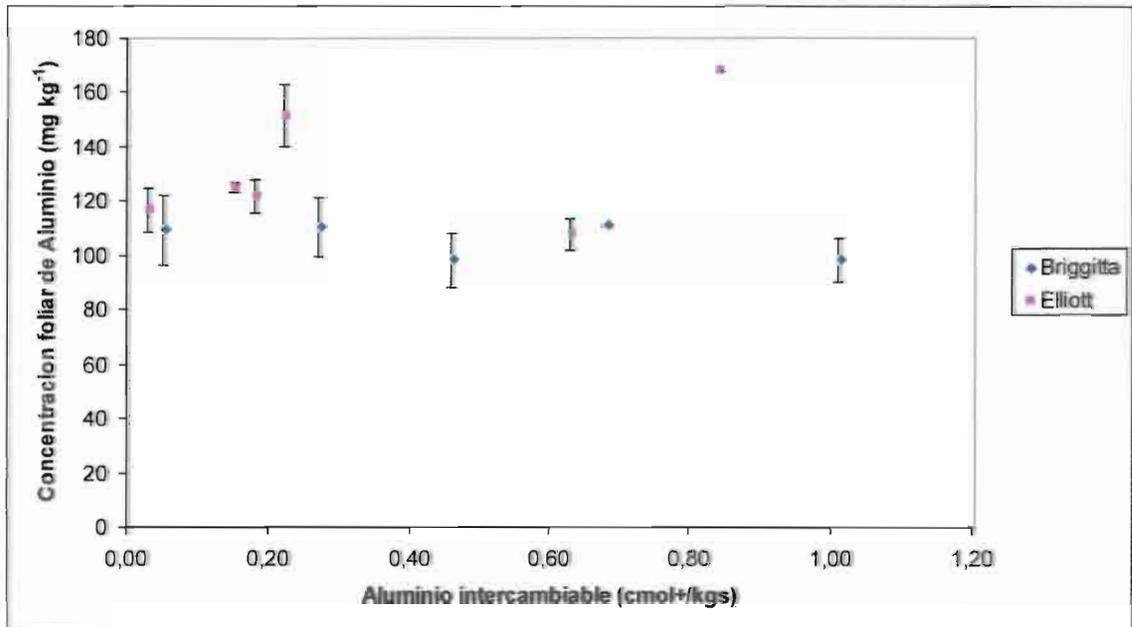


FIGURA 12 Concentración foliar de aluminio a diferentes niveles de aluminio intercambiable en el suelo.

En el gráfico de la Figura 12, se observa que en la medida que los niveles de aluminio intercambiable en el suelo aumentaron, las concentraciones de aluminio foliar en las dos variedades estudiadas no presentaron diferencias en los diferentes sitios de ensayo. Esta nula relación que existió entre ambas variables, puede señalar que existe algún mecanismo de tolerancia que está utilizando el arándano, cuando se encontró expuesto a mayores niveles de aluminio intercambiable. El mecanismo de tolerancia al aluminio que pareciera estar utilizando la especie *Vaccinium corymbosum* L., podrían ser la exclusión de aluminio o la acumulación en otros órganos (o tejidos) diferentes a las hojas.

4.4 Época de muestreo foliar

El objetivo de este análisis está fundamentado principalmente en la determinación del momento óptimo de muestreo foliar en dos variedades de arándanos mediante el

análisis de la dinámica del Al en la concentración foliar a través del tiempo, en sitios que presentaron mayores y menores concentraciones de aluminio intercambiable del suelo. Los datos obtenidos para la realización de este análisis se efectuaron desde el 15 de Diciembre de 2009 hasta el 4 de Abril de 2010.

4.4.1 Variación de la concentración foliar de aluminio a través del tiempo en arándanos cultivados en el sur de Chile. La gráfica de la Figura 13 muestra cual es el comportamiento de la concentración foliar de aluminio a través del tiempo en el cultivo de arándanos (variedades Elliot y Brigitta), cuando estos presentaron mayores y menores concentraciones de aluminio intercambiable en el suelo.

Se puede observar en la grafica de la Figura 13, que en la medida que se realizaron muestreo foliares a través del tiempo en los diferentes sitios de ensayo, en general, existió un aumento de aluminio en la concentración foliar, tanto para los sitios con mayores concentraciones de aluminio como para los que presentaron menores concentraciones de aluminio en el suelo. Los sitios con mayores concentraciones de aluminio intercambiable en el suelo presentaron en todos los momentos de muestreo foliar una mayor concentración foliar de aluminio, con respecto a los sitios con menor aluminio intercambiable.

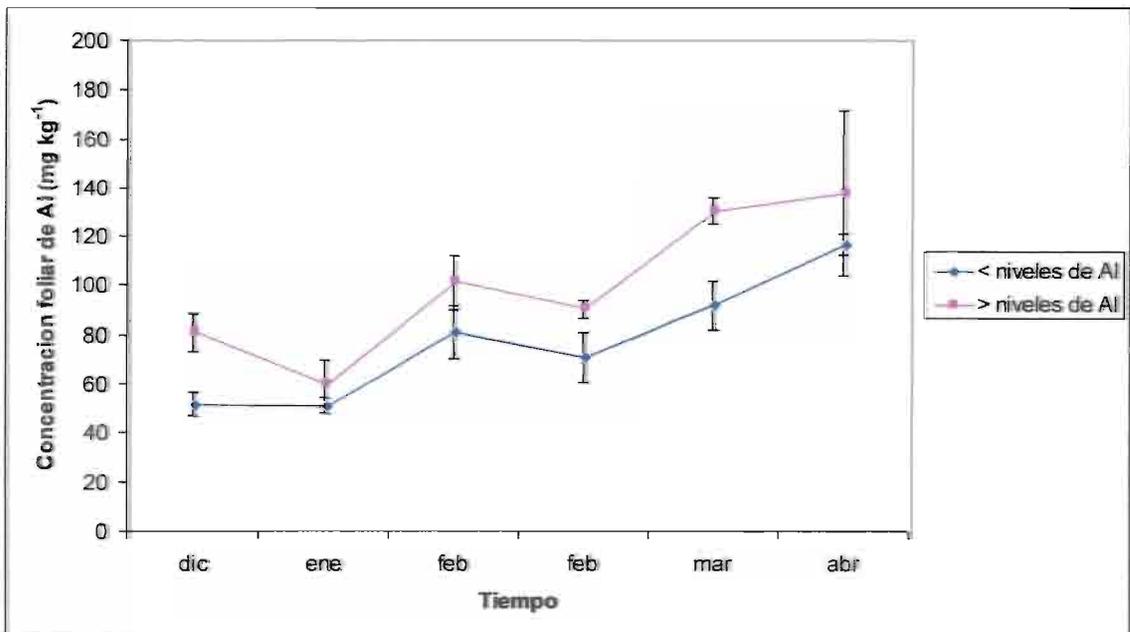


FIGURA 13 Variación del promedio de concentración de aluminio a nivel foliar en las dos variedades de arándanos estudiadas.

Sin embargo, en los muestreos realizados en Enero y a finales de Febrero se observó leve caída en los niveles de aluminio en la concentración foliar tanto para los sitios de ensayo con mayores niveles de aluminio como los que presentaron menores niveles de aluminio en el suelo. Al realizar el análisis entre los diferentes muestreos (en los mayores niveles de aluminio) a través de una ANDEVA de una vía, se determinó que estas menores concentraciones foliares en sus medias no son estadísticamente significativas (con un 95% de confianza). De esta manera, estas variaciones no fueron significativas en ninguno de los diferentes niveles de aluminio intercambiable. Este mismo análisis entregó como resultado además que, a partir del quinto muestreo (Marzo) existieron acumulaciones de aluminio foliar estadísticamente significativas (con un 95% de confianza) en el cultivo de arándanos.

No existen estudios que relacionen los niveles de aluminio intercambiable con los niveles foliares a través del tiempo, y su relación con la época de muestreo foliar en arándanos en condición de campo. Sin embargo, en el estudio realizado por REYES-DIAZ *et al.* (2010) se analizó la respuesta del arándano en su concentración foliar, en el periodo de tiempo de 28 días, cuando fue sometido a diferentes concentraciones de aluminio en una solución nutritiva. Los resultados obtenidos en el estudio señalan que, en la medida que los días transcurrieron, las concentraciones de aluminio no tuvieron un aumento significativo en cada uno de los tratamientos que fueron aplicados. En el estudio realizado por RADIC (2004), se analizó el comportamiento del aluminio en tres especies gramíneas (*Lolium perenne* Phill., *Holcus lanatus* L. y *Bromus valdivianus* L.), obteniendo como resultado que existió un aumento en la acumulación de aluminio en la parte aérea de estas gramíneas a partir del mes de Marzo. El comportamiento que presentó el aluminio en estas especies gramíneas concuerda con el encontrado en la especie frutícola de este estudio, ya que se produjo una acumulación de este elemento a partir de la etapa final del verano.

Con respecto al muestreo foliar, solo existen estudios sobre la época óptima de muestreo en los macro y micronutrientes en el cultivo de arándanos. HIRZEL y RODRIGUEZ (2001) y YANG (2002), señalan además que durante las diferentes etapas de desarrollo de un frutal se van produciendo cambios estacionales en la concentración de nutrientes a nivel de hojas. Tomando en cuenta esta información,

debiera ocurrir algo similar con elementos que no son nutrientes propiamente tal, como lo es el aluminio.

De la Figura 13, se puede sugerir que la época más adecuada para realizar el muestreo foliar sería a principios (diciembre) y finales de temporada (marzo). Esto, debido a que es en estos períodos en donde se pudo observar la mayor diferencia entre los sitios de ensayo que presentan mayores y menores concentraciones de aluminio intercambiable. Esta época de muestreo concuerda con la establecida por HIRZEL y RODRIGUEZ (2001), aunque solo en el muestreo a finales de temporada, ya que ellos señalan que la toma de muestras debiera realizarse una vez que se ha terminado el periodo de cosecha. Por otro lado, YANG (2002), señala que la mejor época de muestreo foliar es cuando la mayoría de los nutrientes minerales de las plantas presentan la menor variación en sus concentraciones foliares.

4.4.2 Variación de la concentración foliar de aluminio en variedad Elliot. Al momento de evaluar la concentración foliar de aluminio en esta variedad, podemos observar que en general, la concentración de aluminio foliar aumentó, conforme pasó el tiempo. Esto indistintamente para sitios de estudio con altos contenidos de aluminio intercambiable como para aquellos sitios que presentaban bajas concentraciones de aluminio intercambiable (Figura 14).

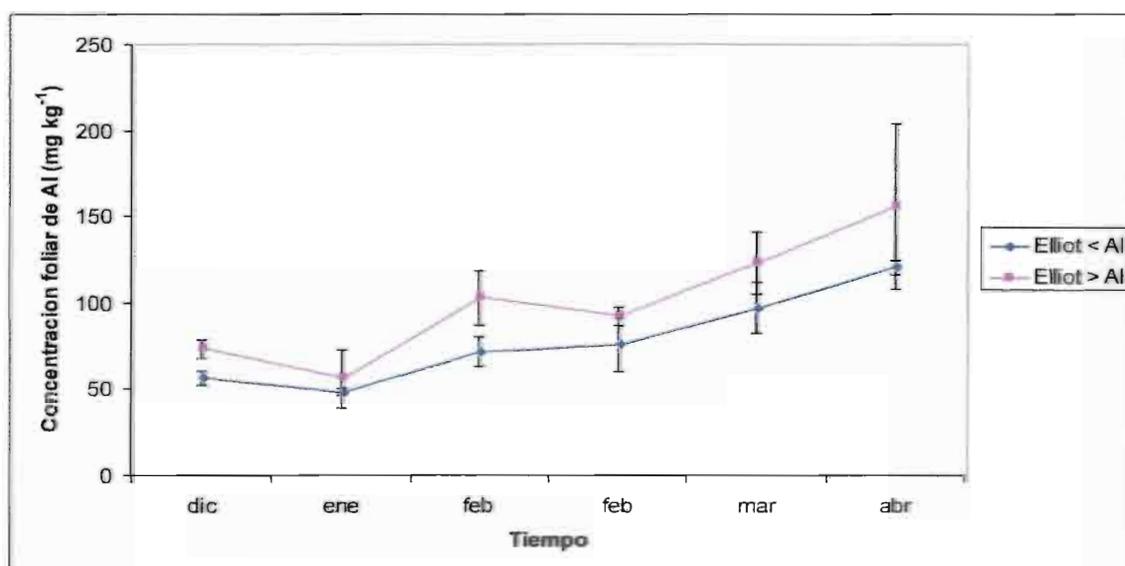


FIGURA 14 Variación de la concentración de aluminio a nivel foliar en la variedad Elliot.

En la Figura 14 se puede observar que, la mejor época de muestreo se encuentra a principio (diciembre) y finales de temporada (marzo), ya que es en estos períodos en los cuales se presenta la mayor diferencia en el contenido foliar de aluminio entre los sitios de ensayos con altas y bajas concentraciones de aluminio intercambiable. Esta información obtenida concuerda con lo señalado por HIRZEL y RODRIGUEZ (2001), sólo para el muestreo de fines de temporada. Esta mayor tardanza en el muestreo foliar está determinada por la edad fenológica, ya que Elliot es una variedad de madurez tardía, presentando el termino de cosecha más tarde.

4.4.3 Variación de la concentración foliar de aluminio en variedad Brigitta. Se analizó también en esta variedad la concentración foliar del aluminio en la temporada productiva, para sitios de estudio con altos contenidos de aluminio intercambiable como para aquellos sitios que presentaban bajas concentraciones de aluminio intercambiable (Figura 15). Se puede apreciar en la gráfica de esta figura que la concentración foliar de aluminio, al igual que la variedad Elliot, también evidenció un aumento conforme pasó el tiempo, con ambos niveles de concentraciones de aluminio intercambiable.

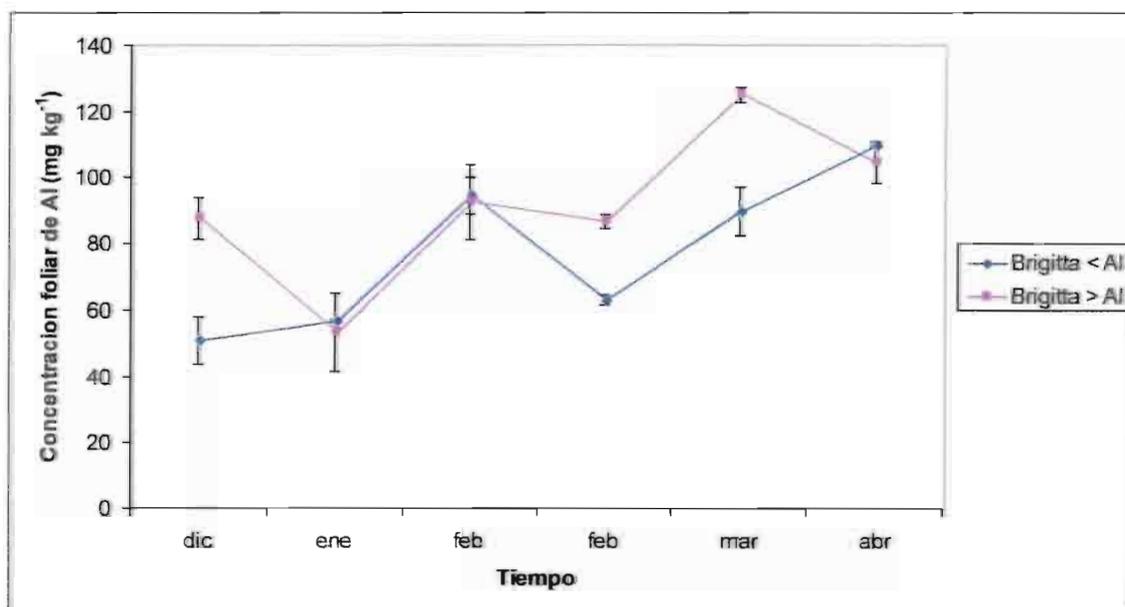


FIGURA 15 Variación de la concentración de aluminio a nivel foliar en la variedad Brigitta.

Al analizar estadísticamente los sitios con mayores niveles de aluminio intercambiable mediante una ANDEVA de una vía, se determinó que sus medias si son estadísticamente significativas (con un 95 % de confianza). El mismo resultado se obtuvo para los sitios con menores niveles de aluminio intercambiable.

No obstante, se observa en la gráfica que existen algunos muestreos que presentan valores distintos. En el muestreo de principios de febrero (tercer muestreo), en los sitios de ensayos con menores concentraciones de aluminio intercambiable, se observa un aumento aun mayor de los niveles foliares de aluminio. En el muestreo que se realizó en los sitios de ensayo con mayores concentraciones de aluminio intercambiable en el mes de enero (segundo muestreo), se determinó también una disminución en los valores de concentración foliar. Estos resultados requieren una posterior ratificación en el segundo año de estudio ya que se debe descartar problemas asociados al muestreo antes de establecer que sea un comportamiento varietal.

En la Figura 15 se observa que la mejor época de muestreo para esta variedad sería a principios (diciembre) y finales de temporada (fines de febrero y marzo), debido a que es en estos períodos en los cuales se aprecia una mayor diferencia, entre los sitios de ensayos con mayores niveles de aluminio y los que presentan menores niveles de aluminio. Estos resultados ratifican los resultados obtenidos en Elliot, y concuerdan con lo que establecen HIRZEL y RODRIGUEZ (2001), con respecto al muestreo de fin de temporada, ya que indican que la mejor época de muestreo es posterior a la cosecha, aunque no señalan nada sobre un muestreo a principios de temporada.

4.5 Calidad de fruto

El objetivo de esta parte de estudio fue principalmente visualizar los potenciales efectos producidos por el aluminio en los parámetros de calidad del fruto de arándanos (variedades Elliot y Brigitta) cultivados en suelos volcánicos en la temporada de cultivo evaluada.

4.5.1 Calibre de frutos. La relación que se observó entre los diferentes niveles de aluminio intercambiable del suelo y los calibres de frutos de ambas variedades de arándanos (Brigitta y Elliot), se puede observar en la Figura 16.

En la Figura 16 se muestra que no existió relación entre los niveles de aluminio intercambiable (mayores y menores) con el calibre de frutos. Es decir, los frutos no

presentaron variación en el calibre explicado por el Al intercambiable en el suelo. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre los niveles mayores y menores de aluminio intercambiable y el calibre de los frutos (en cada uno de los rangos comparados).

A través de este análisis, se puede establecer entonces, que los niveles de aluminio intercambiable no están afectando el calibre de frutos, por ende, serían otros los factores los que están afectando este parámetro de calidad.

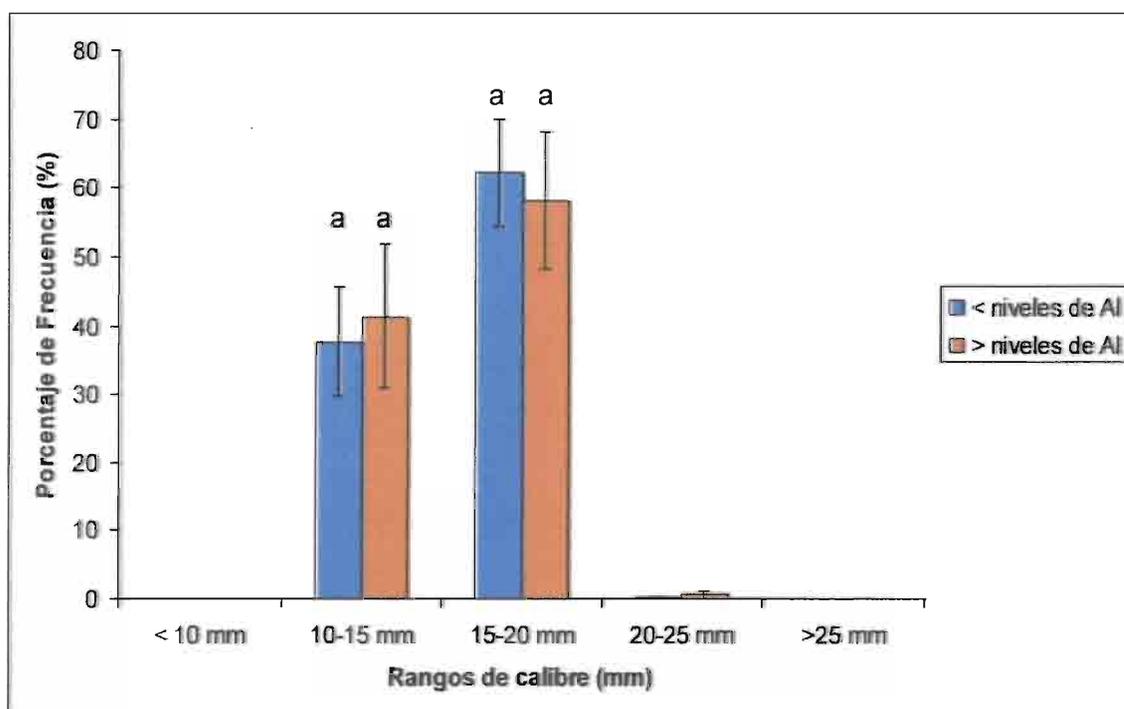


FIGURA 16 Efecto de los diferentes niveles de aluminio intercambiable en el calibre de frutos.

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

Dentro de los factores que estarían relacionados con el calibre de frutos, se pueden mencionar los siguientes: el factor genético, ya que existen especies como el arándano bajo (lowbush) que presentan un carácter dominante de calibre pequeño (Draper y Scott, 1969, citado por CONTRERAS, 2010); posición del fruto, IVIA (2012), señala que la posición en donde se encuentren los frutos puede afectar el calibre que presenten; el número de semillas, es otra variable que afecta el calibre de frutos, ya que a mayor

número de semillas en el fruto, mayor será el tamaño de éste (BUZETA, 1997); la polinización, ya que el tamaño del fruto en arándanos se ve aumentado entre un 10 y un 20% con agentes polinizadores (Hancock, 1991, citado por CONTRERAS, 2010); y factores agronómicos, tales como la poda. En este sentido BAÑADOS (2005), señala que la poda es una herramienta clave para obtener el calibre y la calidad de la fruta que se desea producir.

Los rangos de calibre obtenidos en las variedades analizadas en el presente estudio califican dentro de los parámetros que maneja el Comité de Arándanos de Chile, ya que ellos señalan que los frutos de bajo calibre son aquellos frutos que se encuentran por debajo los 10 mm de diámetro ecuatorial.

4.5.2 Peso de frutos. Al evaluar el peso promedio de frutos de arándano a la cosecha en diferentes niveles de aluminio Al intercambiable en cada uno de los diferentes rangos de calibres, no se encontraron diferencias. Como se puede observar en la gráfica de la Figura 17, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre el peso de los frutos y los sitios de ensayo que presentaban mayores y menores niveles de aluminio intercambiable, en cada uno de los rangos de calibre de frutos evaluados de manera individual.

En la Figura 17, se puede observar además que existe una relación positiva entre el calibre y el peso de los frutos. Es decir, en la medida que el calibre del fruto es mayor, el peso del fruto también se ve aumentado. Esto es debido a que al existir un mayor volumen de frutos encontramos mayores niveles de agua y materia seca en el fruto.

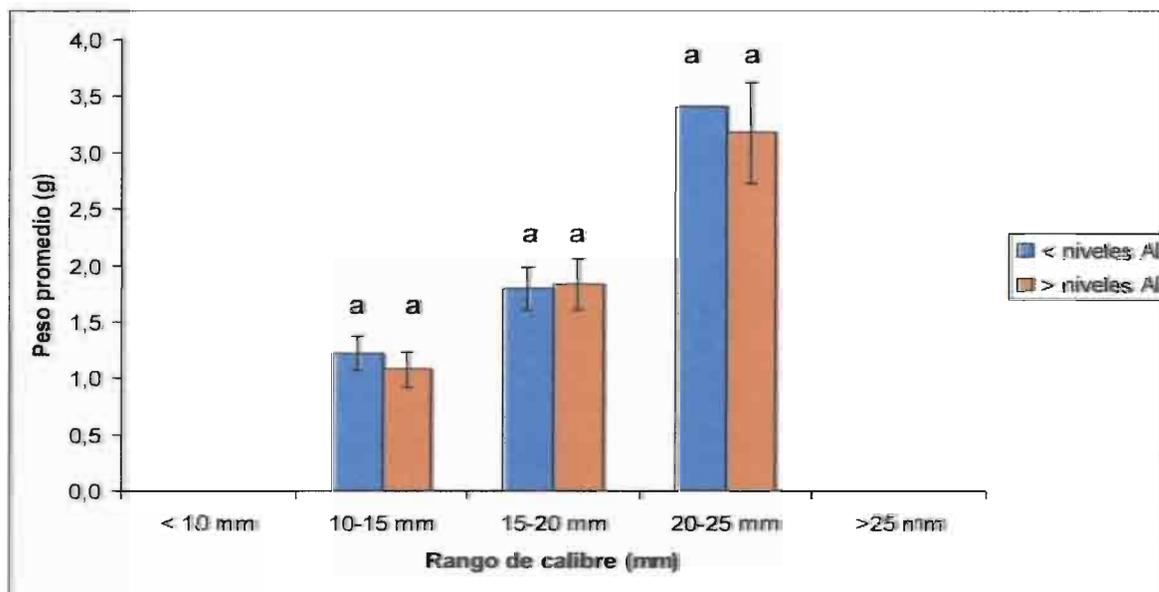


FIGURA 17 Efecto de los diferentes niveles de aluminio intercambiable en el peso promedio de frutos de arándanos, según su calibre.

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

Además, para demostrar de forma más clara la relación que existió entre el aluminio intercambiable del suelo y el peso de los frutos, se realizó un análisis entre ambas variables, considerándose todos los niveles de aluminio encontrados en los diferentes sitios de ensayo y los pesos de frutos pertenecientes a los calibres modales. En la Figura 18, se puede observar que no existió relación los niveles de aluminio intercambiable del suelo y el peso de los frutos. Al observar además en la grafica, se puede apreciar de manera más clara que los frutos pertenecientes al rango de 10-15 mm, presentaron menores pesos promedio en sus frutos que los frutos que pertenecen al rango de 15-20 mm de calibre.

De esta manera, se podría establecer que el peso no es una variable que sea modificada por los niveles de aluminio intercambiable que existen en los huertos de arándanos cultivados en el sur de Chile. Como mencionábamos anteriormente, el peso al estar relacionado directamente con el calibre de los frutos, debe verse afectado por las mismas variables que modifican el calibre. La información obtenida de este análisis sólo comprende una temporada de estudio en el cultivo de arándanos, por lo que se hace necesario ampliar el tiempo de estudio para ratificar la información acá obtenida.

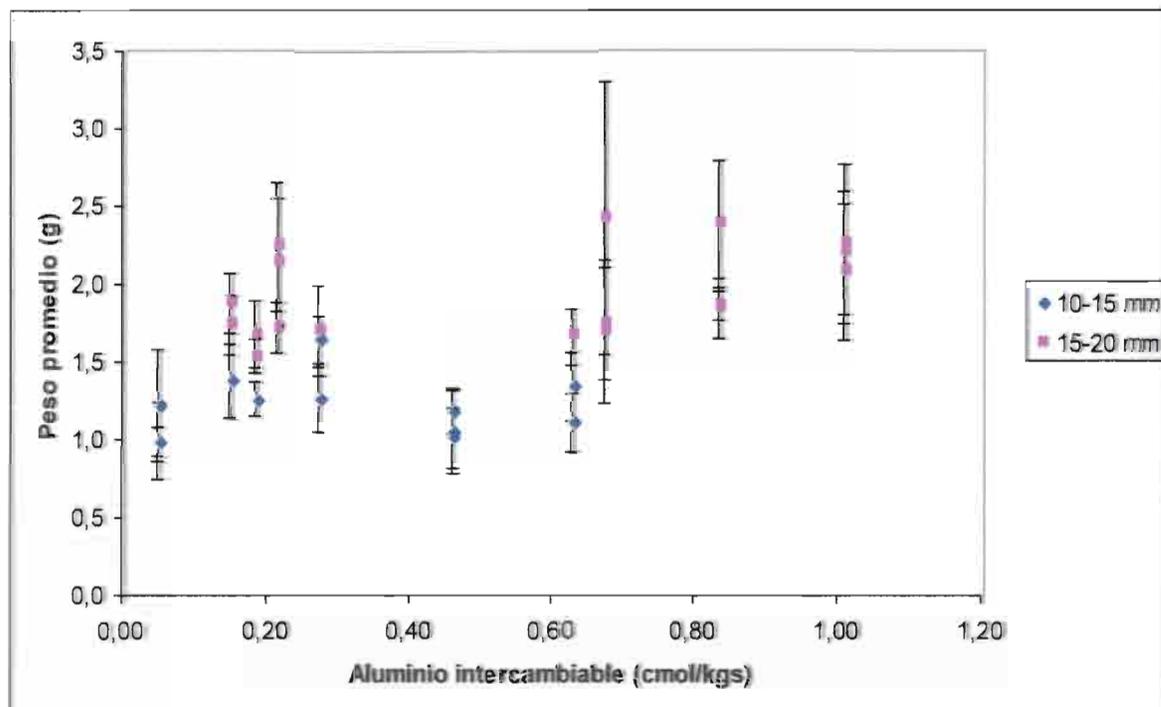


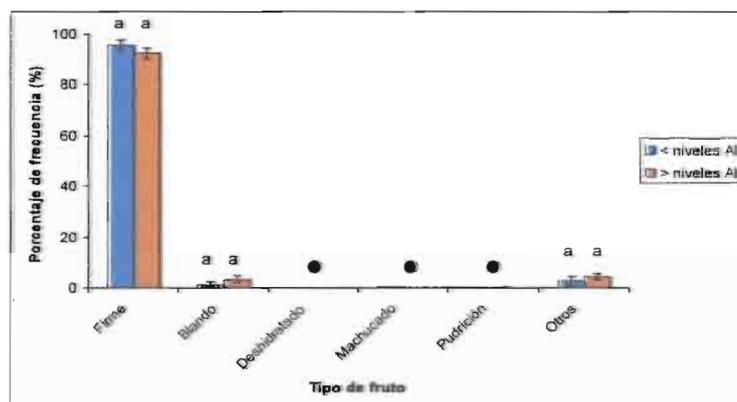
FIGURA 18 Relación entre el nivel de aluminio intercambiable en el suelo y el peso promedio de frutos de arándanos. (Barras de error corresponden al error estándar).

4.5.3 Tipo de frutos. Las relaciones que existieron entre los diferentes niveles de aluminio intercambiable y la calidad de fruta a la cosecha, 20 días postcosecha y 40 días postcosecha, se puede observar en las Figura 19.

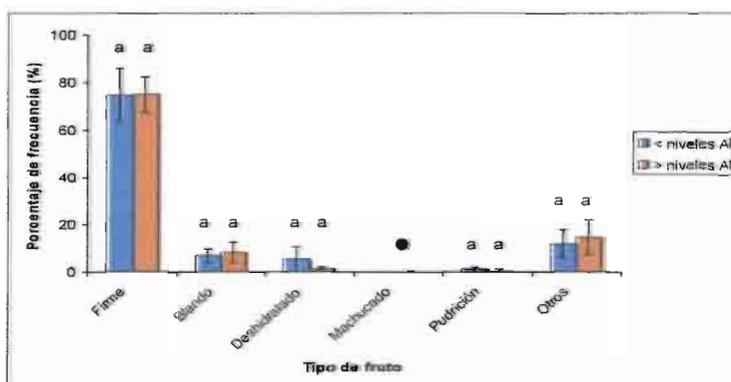
El nivel de Al intercambiable no afectó el % de frecuencia de las distintas categorías de frutos, obtenida a cosecha, 20 o 40 días postcosecha.

El periodo de postcosecha afectó la proporción de tipo de fruto, reduciendo los frutos firmes y aumentando la categoría de frutos blandos, deshidratados y otros, respecto de la evaluación realizada a la cosecha.

a)



b)



c)

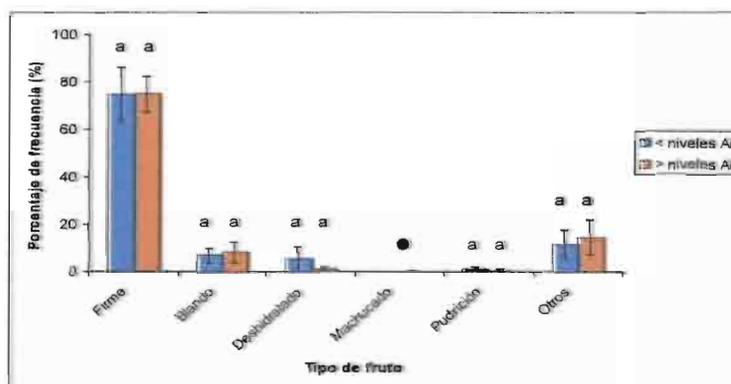


FIGURA 19 Efecto de los diferentes niveles de aluminio intercambiable en el tipo de fruto obtenido al momento de la cosecha (a), 20 días postcosecha (b) y 40 días postcosecha (c).

(Letras distintas indican diferencias entre mayores y menores niveles de aluminio intercambiable del suelo, evaluados en cada tipo de fruto de manera separada. Barras de error corresponden al error estándar. ●: No existe análisis de diferencias entre las medias, pues todos los valores de uno de los niveles evaluados fueron cero).

Esta variación que existió en los diferentes tipos de frutos, es explicada por LOYOLA *et al.* (1996), estos autores señalan que en post cosecha los frutos respiran a expensas de sus reservas nutritivas y transpiran sus propias reservas de agua, por lo que si no hay una compensación de estas pérdidas, comienza el deterioro del fruto, aumentando la proporción de frutos blandos y deshidratados, principalmente. HIRZEL (2011), además señala que, existen otros nutrientes que estarían afectando la calidad de los frutos en la postcosecha, como lo serían el K en la firmeza, el Ca en la firmeza y sanidad en postcosecha y el N, en el ablandamiento que se produce en los frutos.

4.5.4 Firmeza de frutos. La Figura 20 muestra que los mayores y menores niveles de aluminio intercambiable, no presentan diferencias estadísticamente significativas sobre la firmeza de los frutos a la cosecha, 20 días postcosecha y 40 días postcosecha (datos analizados de forma particular para cada época de análisis).

El resultado obtenido en este análisis, ratifica el resultado obtenido anteriormente en el tipo de fruto, donde se pudo observar que los niveles de aluminio intercambiable del suelo presentes en los sitios de ensayo no están afectando la firmeza de los frutos, siendo otros los factores que afectan este parámetro de calidad. De esta manera NESMITH *et al.* (2002), señalan que el manejo y la temperatura a la que es almacenada la fruta determina la calidad de ésta, ya que se ha podido demostrar que los daños mecánicos y las altas temperaturas disminuyen el peso y la firmeza de los frutos. HIRZEL (2011), señala que existen parámetros nutricionales que afectan la firmeza de frutos, de esta forma, este parámetro de calidad estaría siendo afectado principalmente por los diferentes niveles nutricionales de K, Ca y N, que se presentan en el suelo.

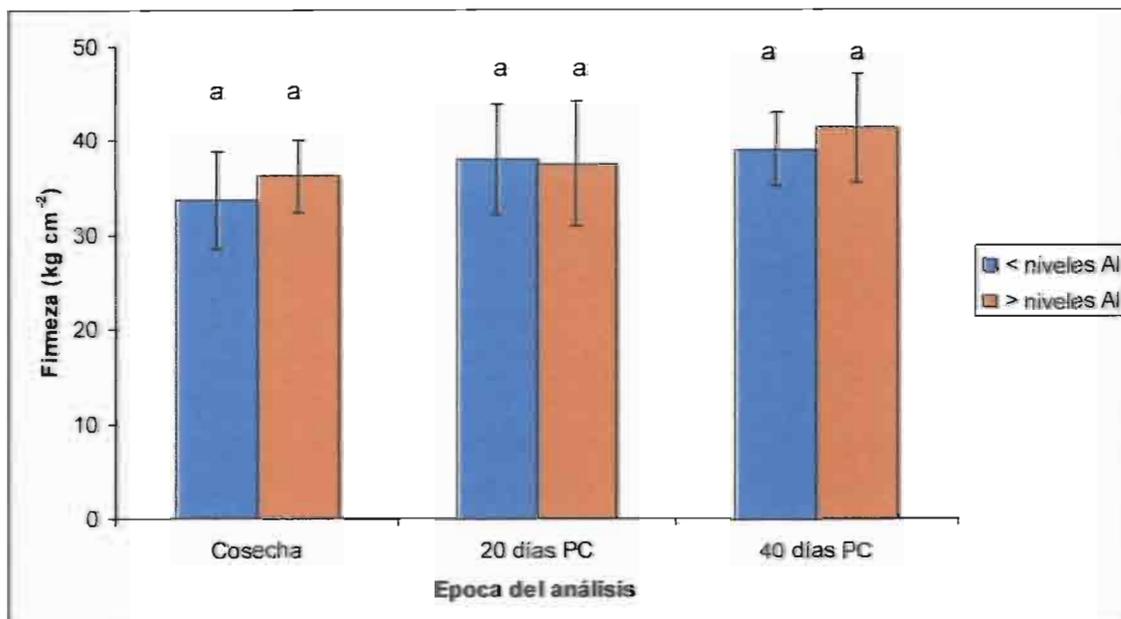


FIGURA 20 Efecto de los diferentes niveles de aluminio intercambiable sobre la firmeza del fruto de arándano obtenidos a la cosecha y en postcosecha.

(Letras distintas indican diferencias entre mayores y menores niveles de aluminio intercambiable del suelo, evaluados en cada tipo de fruto de manera separada. Barras de error corresponden a la desviación estándar)

Al analizar la asociación entre el nivel de aluminio intercambiable del suelo presente en los diferentes sitios de ensayo y la firmeza de los frutos a la cosecha y en postcosecha, se puede establecer que no existió relación entre ambas variables analizadas. En la gráfica de la Figura 21, se puede apreciar que en la medida que los niveles de aluminio intercambiable fueron en aumento no se produjeron cambios en la firmeza de los frutos a la cosecha ni en la postcosecha, además los datos presentaron una gran dispersión, ratificando esta nula relación directa. La falta de asociación entre estas variables es válida para el rango de aluminio intercambiable en el suelo, explorado en este estudio. No obstante a niveles mayores es esperable un efecto detrimental del Al^{+3} sobre parámetros de calidad de los frutos, como la firmeza.

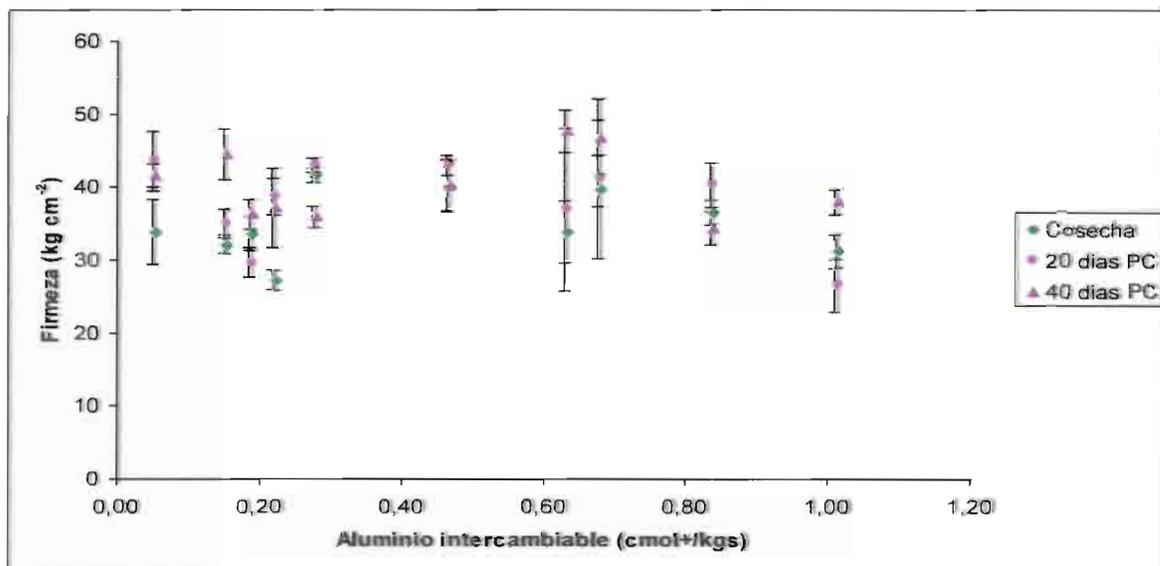


FIGURA 21 Relación entre el nivel de aluminio intercambiable en el suelo y la firmeza de frutos de arándanos en la cosecha y postcosecha. (Barras de error corresponden a la desviación estándar).

4.5.5 Razón sólidos solubles:acidez titulable. La relación que existió entre sólidos solubles y acidez titulable se observa en la Figura 22.

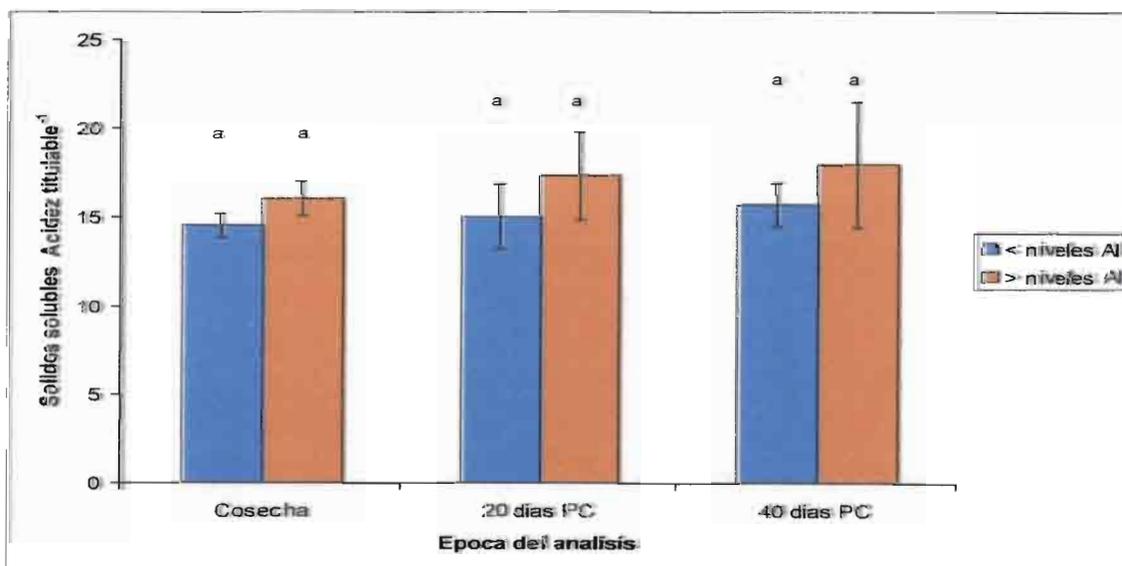


FIGURA 22 Efecto de los diferentes niveles de aluminio intercambiable sobre la relación sólidos solubles y acidez titulable en el fruto de arándano obtenidos a la cosecha y en postcosecha.

(Letras distintas indican diferencias entre mayores y menores niveles de aluminio intercambiable del suelo, evaluados en cada tipo de fruto de manera separada. Barras de error corresponden a la desviación estándar)

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 mayores y menores niveles de aluminio intercambiable del suelo, en el rango evaluado en los diferentes sitios de ensayo. Con respecto al comportamiento de la relación sólidos solubles y acidez titulable a través del tiempo, GODOY (2004) encontró un resultado diferente al encontrado en nuestro estudio, aunque en el estudio que él llevo a cabo no evaluó el efecto de diferentes niveles de aluminio. En dicho estudio si se pudo observar un cambio en la relación sólidos soluble y acidez titulable desde la cosecha hasta 31 días de postcosecha, aunque no analiza cual es el verdadero motivo que está originando esta variación en la relación SS/AT.

La Figura 23 muestra la asociación entre la razón SS/AT y el aluminio intercambiable en diferentes momentos: a la cosecha, 20 y 40 días postcosecha, para todos los sitios de estudio.

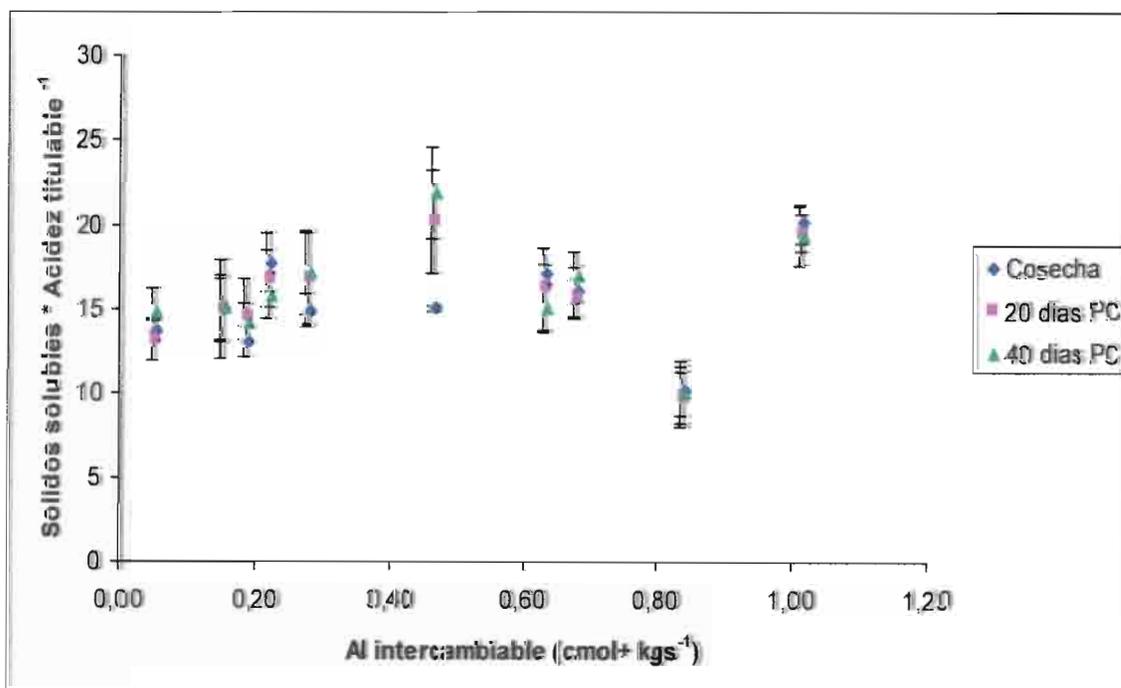


FIGURA 23 Relación entre el nivel de aluminio intercambiable en el suelo y la relación entre sólidos solubles y acidez titulable a la cosecha y postcosecha. (Barras de error corresponden a la desviación estándar).

De este análisis se puede desprender que no se observó una relación entre ambas variables analizadas. Es decir, a medida que los niveles de aluminio intercambiable del suelo fueron en aumento, la relación entre los sólidos solubles y la acidez en general no presentó una tendencia clara a aumentar ni a disminuir, aunque sí se presentaron algunas variaciones de carácter oscilantes.

5 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que existe un nivel de aluminio intercambiable en el suelo, a partir del cual se produce un efecto de disminución sobre el rendimiento del cultivo de arándano. El valor crítico de aluminio intercambiable propuesto es de $0,35 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ para las dos variedades de arándanos estudiadas (Briggitta y Elliott), no determinándose diferencias entre variedades, ni tampoco en la edad productiva de los diferentes huertos de ensayo.

La relación analizada entre el aluminio foliar y el rendimiento de arándanos, no permitió establecer un valor crítico de aluminio foliar para los arándanos cultivados en la zona Sur de Chile. Los valores de concentraciones foliares de aluminio en este estudio fueron inferiores a las establecidas en USA, como primera aproximación para el año de estudio se pueden considerar estos valores como críticos en suelos volcánicos del Sur de Chile.

La concentración foliar de aluminio en las variedades de arándano estudiadas no aumentaron con la concentración de aluminio intercambiable del suelo, lo que sugiere mecanismos de tolerancia al estrés, evitando el traspaso de Al a la parte foliar de las variedades de arándano alto estudiadas.

La concentración foliar de aluminio a medida que transcurrió la temporada de cultivo aumentó hasta el final de la cosecha de frutos en ambas variedades estudiadas, aunque existieron pequeñas diferencias en los niveles de aluminio acumulado por cada una de las variedades.

Las diferencias en la concentración foliar de aluminio entre ensayos con menores y mayores niveles de aluminio en el suelo, se presentaron al inicio de la temporada (diciembre) y al final de la temporada (marzo), en ambas variedades estudiadas en conjunto. De esta manera, se sugiere que el momento óptimo para realizar el muestreo foliar se encontraría a principios de temporada, y a finales de temporada. Sin embargo, existió una pequeña diferencia entre variedades en la época de muestreo propuesta,

- CHILE, CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN). 2003. Estudio Agrológico. Descripciones de suelos materiales y símbolos X Región. Tomo I, II. Publicación 123 p.
- 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_06/9ArandanosProduccion.mercado.pdf>. (4 sep 2012).
- CHILE, INSTITUTO DE DESARROLLO AGROPECUARIO (INDAP). 2009. El cultivo del arándano. (On line). Biblioteca. Fruticultura. <http://beta1.indap.cl/Docs/Documentos/Fruticultura/Ar%C3%A1ndano/el_cultivo_del_arandano.pdf>. (10 oct. 2012).
- CHILE, FUNDACION PARA LA INNOVACION AGRARIA (FIA). 2002. Estrategia de innovación agraria para producción de berries. Santiago, Chile. 67p.
- CHILE, OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA). 2008. Dinámica productiva y comercial Octubre 2008. Situación y perspectivas de los berries en Chile. (On line). < <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/2122.pdf>> (9 ago 2012).
- CHILEAN BLUEBERRY COMMITTEE. 2011. Regiones Productivas. (On line). <http://comitedearandanos.cl/2010/spanish/regiones_productivas.php> (23 oct. 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>>. (25 sept. 2012)
- DARNELL, R.; STUTTE, G.; MARTIN, G.; LANG, G. y EARLY, J. 1992. Developmental physiology of rabbiteye blueberry. Hort. Review 13: 339-405 p.

ya que para Elliot (variedad tardía), el muestreo de final de temporada se debe realizarse mas tarde que Brigitta (variedad temprana).

En general, el aluminio intercambiable no afectó ninguno de los parámetros de calidad estudiados (firmeza, peso de frutos, tipo de frutos, calibre y relación sólidos solubles:acidez titulable), ni a la cosecha, ni a los 20 y 40 días de poscosecha, durante la temporada de cultivo en que se llevó a cabo el estudio.

6 BIBLIOGRAFIA

- BAÑADOS, P. 2005. Claves para la poda de arándanos. (On line). Agronomía y Forestal UC 25: 28-31 p. <http://www.ptihusco.cl/indicador/documento/biblioteca_1077.pdf> (02 Oct. 2012).
- BERNIER, R. y ALFARO M. 2006. Acidez de los suelos y efecto del encalado. Boletín INIA, N° 151. Santiago (Chile). 46p.
- BLACK, C. 1975. Relaciones suelo planta. Montevideo, Uruguay. Hemisferio Sur. 444p.
- BOHN, H., McNEAL, B. y O'CONNOR, G. 1993. Química de suelos. México D.F., México. Limusa. 370 p.
- BOWEN, D. 1986. Análisis agroclimático de Chile como productor potencial de arándanos o blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) y arándanos o cranberries (*Vaccinium macrocarpon* L.) y sus posibilidades en el mercado externo. Tesis. Universidad de Chile. Escuela de Agronomía. 279 p.
- BRADY, N. y WEIL, R. 1999. The nature and properties of soils. 12th. New Jersey, (EEUU). Prentice Hall. 881 p.
- BRADY, N. y WEIL, R. 2000. Elements of the nature and properties of soils. Prentice Hall. New Jersey. EEUU. 559 p.
- BRUNO, Y. 2008. Arándanos: situación y perspectivas. (On line). Anuario 2008 – OPYPA. <<http://www.mgap.gub.uy/opypa/ANUARIOS/Anuario08/materialpdf/16.pdf>>. (12 oct 2012).
- BUZETA, A. 1997. Chile: Berries para el 2000. Santiago, Fundación Chile. 133 p.
- CHILE, CENSO AGROPECUARIO Y FORESTAL. 2007. Superficie con frutales en plantación compacta o industrial y huertos caseros en formación y producción, según región y especie (On line). <www.censoagropecuario.cl/index2.html> (24 jul 2012).

- DE LA FUENTE, J.M. y HERRERA, L. 1999. Advances in the understanding of aluminum toxicity and the development of aluminum-tolerant transgenic plants. *Advances in Agronomy (USA)* 66: 103-120 p.
- DOMINGUEZ, A. 1997. Tratado de fertilización. Madrid, España. Mundi-Prensa. 613 p.
- DOMINGUEZ, A. 2011. Resultados y Proyecciones de la Industria de los Berries. (On line). Chilealimentos <http://www.chilealimentos.com/medios/Servicios/Seminarios/2011/Seminario_Berries_2011/Dominguez2011inauguracion.pdf>. (10 oct. 2012).
- ERNST, B. 2009. Más fruta y menos optimismo. (On line) <<http://www.fruticulturasur.com/fichaNota.php?articulold=817>> (08 nov 2012).
- ESPAÑA, INSTITUTO VALENCIANO DE INVESTIGACIONES AGRARIAS (IVIA). 2012. El calibre de los frutos cítricos: guía de manejo. (On line). <http://www.ivia.es/sdta/cursos/GUIA_DE_MANEJO.pdf> (02 oct. 2012).
- ESPINDOLA, L. 2003. Producción de berries en Chile. In A. Hoffmann y S. Sebben: Actas 1º Seminario Brasileiro sobre pequeñas frutas. Vacaria, Brasil. 64 p.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L. y WHITE, M.C. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Plant Physiology (EEUU)* 29: 511 – 566 p.
- GODOY, C. 2002. El arándano: plantación y manejo del cultivo. (On line) Unidad integrada Balcarce INTA (Argentina). <<http://www.elsitioagricola.com/gacetillas/balcarce/bl20020412/arandano.asp>> (12 ago 2012).
- GODOY, C. 2004. Conservación de dos variedades de arándano alto en condiciones de frío convencional. (On line). *Revista de la facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo (Argentina)* 36 (1): 53-61 p. <<http://bdigital.uncu.edu.ar/app/navegador/?idobjeto=157>> (06 ago 2012).
- HIRZEL, J. y RODRIGUEZ, N. 2001. Diagnostico del estado nutricional de los frutales 1. Análisis foliar. *Informativo Agropecuario Bioleche INIA Quilamapu*. 14 (4): 21-23 p.

- HIRZEL, J. y RODRÍGUEZ, N. 2003. Necesidades nutricionales y fertilización del cultivo de arándano en etapa productiva. Informativo agropecuario bioleche – INIA Quilamapu. 3 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>>. (10 oct. 2012).
- INOSTROZA, C. 2011. Identificación de genes que codifican enzimas antioxidantes en respuesta al estrés por aluminio (Al^{+3}) en arándano (*Vaccinium corymbosum* L.). Tesis Dr. Cs. Recursos naturales. Universidad de la Frontera, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración. 180 p.
- KINRAIDE, T.B. 1991. Identity of the aluminium species. Plant and Soil (Holanda). 134: 167–178 p.
- LOYOLA, N.; ARANDA, M.; TEIXIDÓ, E. y PALMA H. 1996. Empleo de envases fisiológicos en frutos de arándanos para exportación. Agro Sur 24: 113-125
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd. ed. London, Great Britain. Academic Press. 889 p.
- MEDEL, F. 1987. Arbustos frutales: Situación y potencial en el sur de Chile. Corporación de Fomento de la Producción y Universidad Austral de Chile. Santiago. Chile. 50 p.
- MORA, M.L.; ALFARO, M.; WILLIAMS, P.; STEHR, W. y DEMANET, R. 2004. Effect of fertilizer input on soil acidification in relation to growth and chemical composition of a pasture, and animal production. R. C. Suelo Nutricion Vegetetal. 4(1): 29-40 p.
- MUÑOZ, C. 1988. Variedades y su propagación. Instituto de investigaciones agropecuarias. Seminario: El cultivo del arándano. Estación Experimental Carillanca. Temuco, Chile. 51-66 p.
- MUÑOZ, C. y MOREIRA, I. 2002. Arándanos: Situación actual y perspectivas de negocio. Revista Tierra Adentro (Chile) 47: 26-29 p.

- NESMITH, D.S. 2002. Response of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) to the growth regulators CPPU and gibberellic acid. HortScience 37: 666-668 p.
- NOVOA, R. y VILLASECA, S. 1989. Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA). 221 p.
- OPAZO, J. 2006. Calidad de suelo, nutrición y fertilización para arándanos. Aconex (Chile) 93 (4): 11 – 14 p.
- OLIVARES, R. 2009. Cultivares de Arándanos para la Zona Norte de Chile. (On line). Nuestros Berries. Driscoll's de Chile S.A. <http://bp.driscolls.cl/plataformasweb_corporativa_v2/presentacion/nuestros_berries.aspx?g=26&p=112> (06 oct 2012).
- PINOCHET, D. 2006. Conceptos generales sobre la acidez y la acidificación de los suelos y sus efectos sobre los vegetales. In: Clases de Cátedra, asignatura Fertilidad de Suelos. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 16 p.
- PINOCHET, D.; TEUBER, C. y CARRASCO, J. 2011. Toxicidad al aluminio intercambiable de suelos volcánicos de las brásicas forrajeras en condiciones de campo. In F. Ortega y O. Strauch: XXXVI Congreso Chileno de Producción Animal. Libro de resúmenes. Punta Arenas. 308 p.
- PETERSON, D.; MULLINS, C.; LIETZKE, D. y DEYTON, D. 1987. Effects of soil-applied elemental sulfur, aluminum sulfate, and sawdust on growth of rabbiteye blueberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 612-616 p.
- RADIC, S. 2004. Fitotoxicidad por aluminio en condiciones de campo sobre tres poaceas forrajeras: *Bromus valdivianus* PHIL., *Holcus lantus* L. y *Lolium perenne* L. Tesis Magister Ciencias Producción Animal, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 150 p.
- REYES-DIAZ, M.; ALBERDI, M. y MORA, M.L. 2009. Short-term Aluminum Stress Differentially Affects the Photochemical Efficiency of Photosystem II in Highbush Blueberry Genotypes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 134(1):14-21 p.
- REYES-DIAZ, M.; INOSTROZA-BLANCHETEAU, C.; MILLALEO, R.; CRUCES, E.; WULFF-ZOTTELE, C.; ALBERDI, M. y MORA, M.L. 2010. Long-term aluminum exposure effects on physiological and biochemical features of highbush blueberry cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 135: 212-222 p.

- REYES-DIAZ, M.; MERIÑO-GERGICHEVICH, C.; ALARCÓN, E.; ALBERDI, M. y HORST, W.J. 2011. Calcium sulfate ameliorates the effect of aluminum toxicity differentially in genotypes of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition (USA)* 11(4): 59-78 p.
- RODRÍGUEZ, M. 1989. *Geografía Agrícola de Chile*. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 317 p.
- ROUT, G.R.; SAMANTARAY, S. y DAS, P. 2001. Aluminum toxicity in plants: a review. *Agronomy for sustainable development. Agronomie* 21: 3-21 p.
- ROWELL, D.L. 1992. Acidez y alcalinidad del suelo. In: A. Wild (ed): *Condiciones de suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Madrid, España. Mundi-Prensa. 885-940 p.
- ROWELL, D.L. 1996. *Soil Science; Methods and Applications*. Longman, England. 350 p.
- SANCHEZ, E. 2006. Diagnóstico y proyección de la producción de arándanos en la zona sur de Chile. Tesis Lic. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 93 p.
- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; GREZ, R.; MORA, M.; FLOREZ, H. y NEAMAN, A. 2006. *Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA N° 34, Santiago, Chile. 164p.
- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; GREZ, R. y MORA, M. 2006. Acidificación de los suelos volcánicos del sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Santiago, Chile. 8p.
- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; 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, Chile. 140 p.
- SANDERSON, K.; JORDAN C. y FILLMORE S. 2008. Leaf Nutrient Ranges for Wild Blueberries in Prince Edward Island. *Internatioanl Journal of Fruit Science* 8 (1-2): 63-68 p.

- SERRANO, E. 2003. Banana soil acidification in the Caribbean coast of Costa Rica and its relationship with increased aluminum concentration. In D.W. Turner y F.E. Rosales: Banana Root System: Towards a better understanding for its productive management. Proceedings of an international symposium held in San José, Costa Rica, 142-148 p.
- 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>. (12 oct. 2011).
- SPIERS, J.M. 1990. Influence of aluminum and manganese on rabbiteye blueberries. HortScience 25 (5): 515-516 p.
- SUDZUKI, F. 2002. Cultivo de frutales menores. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 184 p.
- SUZUKI, A.; MIURA, A. y AOBA, K. 1999. Effects of Aluminum, Calcium and Phosphate on Shoot Growth, Viability, and Aluminum Distribution in the Root Apices in Highbush Blueberry Cultured *in vitro*. Journal of Japan Society for Horticultural Science (68): 937-941 p.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, I.D. y HAVLIN, J.L. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5th ed. MacMillan. (EEUU). 634 p.
- TOSSO, J. 1985. Suelos Volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. 723 p.
- VALENZUELA, J. 1988. Requerimientos agroclimáticos de las especies de arándano. Seminario: El cultivo del arándano. INIA Carillanca. Temuco, Chile. 17 – 23 p
- VALLE, S.R.; CARRASCO, J.; CALDERINI, D. F. y PINOCHET, D. 2006. Respuestas del rendimiento de genotipos de trigo con diferente sensibilidad al aluminio en suelos trumaos del Sur de Chile. (On line). Simiente 76 (3-4): 7-8 p. <http://www.sach.cl/rev/08_Revista_Simiente_3-4_2006.pdf> (10 oct. 2012)
- VALLE, S.R.; CARRASCO, J.; PINOCHET, D. y CALDERINI, D. 2009. Grain yield, above-ground and root biomass of Al-tolerant and Al-sensitive wheat cultivars

under different soil aluminum concentrations at field conditions. *Plant Soil* 318: 299–310 p.

VARDAR, F. y ÜNAL, M. 2007. Aluminum toxicity and resistance in higher plants. (On line). *Advances in Molecular Biology* 1: 1-12 p. <http://kerem.turkdizayn.com/pdfs/01_1-12_Vardaretal.pdf> (23 sep 2012)

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>>. (21 oct. 2012).

7 ANEXOS

ANEXO 1 Análisis químico de suelos iniciales correspondientes a cada uno de los sitios de estudio.

Resultados analíticos		Cuarteles										
		A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	E1	E2
pHa	(agua)	4,7	4,4	5,3	5,4	5,2	5,9	5,7	5,6	6,1	5,6	5,3
pHCa	(CaCl ₂)	4,3	4,3	4,5	4,6	4,4	5,2	5,0	5,0	5,4	4,9	4,7
Materia orgánica	(%)	17,3	15,9	7,2	7,4	7,0	15,5	17,3	17,3	14,5	13,4	14,0
P	(mg/kg)	18,2	22,2	16,0	30,4	24,9	5,8	12,2	8,0	17,2	18,9	27,1
Bases	(Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0,89	1,46	8,86	8,78	6,44	7,88	7,58	5,43	7,41	7,84	8,57
Al intercambiable	(Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	1,27	1,13	1,02	0,62	1,28	0,05	0,09	0,12	0,05	0,19	0,47
Saturación Al	(%)	58,7	43,6	10,5	6,6	16,6	0,6	1,2	2,2	0,7	2,4	5,2

ANEXO 2 Rendimiento total temporada 2009/10 obtenido en cada uno de los sitios estudiados.

CUARTEL A1 (Brigitta)						CUARTEL A2 (Elliot)				
Repetición	Total Exportable	Total descarte	Total general	Rendimiento promedio	Rendimiento total	Total exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1Sin	21,52	1,83	23,35	2,34	8340	17,39	1,80	19,19	1,92	6854
2Sin	30,10	3,92	34,02	3,40	12149	18,96	6,21	25,17	2,52	8988
3Sin	27,07	2,71	29,78	3,31	11816	15,83	2,77	18,59	1,86	6640
1Con	29,01	1,42	30,43	3,04	10869	18,54	2,94	21,48	2,15	7671
2Con	27,37	3,73	31,10	3,11	11108	15,69	3,10	18,79	1,88	6709
3Con	23,47	3,19	26,66	2,67	9521	18,65	2,01	20,66	2,07	7377
CUARTEL B1 (Brigitta)						CUARTEL B2 (Brigitta)				
Repetición	Total Exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total	Total Exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1Sin	2,90	1,02	3,92	0,39	1307	12,01	2,94	14,95	1,50	4984
2Sin	4,55	0,59	5,14	0,51	1712	7,04	1,15	8,19	0,82	2729
3Sin	2,44	0,99	3,43	0,34	1143	11,18	2,13	13,32	1,33	4439
1Con	3,51	2,50	6,01	0,60	2004	22,65	7,60	30,25	3,03	10083
2Con	3,22	1,16	4,38	0,44	1461	13,78	2,31	16,08	1,61	5361
3Con	3,50	1,21	4,71	0,47	1570	17,66	8,14	25,80	2,58	8599

ANEXO 2 (continuación).

CUARTEL B3 (Elliot)						CUARTEL C1 (Brigitta)				
Repetición	Total Exportable	Total descarte	Total general	Rendimiento promedio	Rendimiento total	Total exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1Sin	33,36	4,51	37,87	3,79	12622	9,23	6,51	15,74	1,57	7497
2Sin	33,34	4,63	37,98	3,80	12658	12,78	4,75	17,53	1,75	8346
3Sin	26,65	3,73	30,39	3,04	10127	8,24	1,56	9,81	0,98	4670
1Con	35,29	5,26	40,55	4,05	13514	10,72	3,55	14,28	1,43	6798
2Con	34,16	4,54	38,70	3,87	12897	8,51	3,67	12,18	1,22	5801
3Con	41,50	5,79	47,29	4,73	15762	10,13	4,48	14,61	1,46	6959
CUARTEL C2 (Elliot)						CUARTEL C3 (Elliot)				
Repetición	Total Exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total	Total Exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1Sin	8,89	1,85	10,74	1,07	5113	10,74	4,01	14,75	1,47	4915
2Sin	7,00	2,55	9,55	0,96	4548	12,03	3,00	15,03	1,50	6009
3Sin	8,20	4,21	12,40	1,24	5906	11,23	4,94	16,17	1,62	5390
1Con	10,99	3,00	13,98	1,40	6659	9,56	3,60	13,15	1,32	4384
2Con	8,25	3,95	12,19	1,22	5805	9,75	1,68	11,43	1,14	3811
3Con	8,77	3,15	11,92	1,19	5675	10,51	3,87	14,38	1,44	4791

ANEXO 2 (continuación)

CUARTEL D1 (Elliot)						CUARTEL E1 (Brigitta)				
Repetición	Total Exportable	Total descarte	Total general	Rendimiento promedio	Rendimiento total	Total exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
1Sin	20,56	0,10	20,67	2,07	7655	7,52	1,30	8,83	0,88	2942
2Sin	19,56	4,09	23,65	2,37	8759	13,32	0,51	13,83	1,54	5120
3Sin	18,42	0,76	19,17	1,92	7100	8,15	0,75	8,90	0,89	2967
1Con	24,21	0,33	24,54	2,45	9090	9,19	1,78	10,97	1,10	3658
2Con	17,94	0,49	18,42	1,84	6823	3,14	0,20	3,34	0,33	1112
3Con	20,58	0,58	21,16	2,12	7836	8,64	2,11	10,75	1,19	3981
CUARTEL E2 (Elliot)										
Repetición	Total Exportable	Total descarte	Total General	Rendimiento promedio	Rendimiento total					
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg planta ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)					
1Sin	3,97	0,25	4,22	0,53	1759					
2Sin	3,38	0,13	3,51	0,39	1300					
3Sin	4,26	0,00	4,26	0,47	1579					
1Con	8,32	0,33	8,65	1,08	3605					
2Con	3,28	0,08	3,36	0,42	1398					
3Con	3,54	0,00	3,54	0,39	1309					

ANEXO 3 Análisis químico de los sitios de estudio, realizado al final de la temporada.

Cuartel	Repeticiones	pH	pH	Materia orgánica	P-Olsen	Bases	AI intercambiable	Saturación AI
		(agua)	(CaCl ₂)	(%)	(mg kg ⁻¹)	(cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	(cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	(%)
A1	1-2-3 (Sin corrección)	4,56	4,22	16,0	21,0	1,47	1,01	40,7
	1-2-3 (Con corrección)	4,55	4,10	14,9	20,1	1,86	0,89	32,4
A2	1-2-3 (Sin corrección)	4,14	4,11	18,0	34,5	0,98	0,22	17,9
	1-2-3 (Con corrección)	4,89	4,57	16,4	20,7	3,86	0,48	11,1
B1	1-2-3 (Sin corrección)	4,94	4,53	7,7	51,7	8,55	0,46	5,1
	1-2-3 (Con corrección)	5,21	4,83	8,30	39,6	9,94	0,29	2,8
B2	1-2-3 (Sin corrección)	5,17	4,73	4,70	31,7	10,22	0,27	2,6
	1-2-3 (Con corrección)	5,36	5,00	5,50	34,2	10,32	0,21	2,0
B3	1-2-3 (Sin corrección)	5,13	4,47	6,00	22,3	7,34	0,84	10,2
	1-2-3 (Con corrección)	5,17	4,50	6,70	21,1	6,56	0,81	10,9
C1	1-2-3 (Sin corrección)	5,56	5,14	16,2	13,1	8,64	0,05	0,6
	1-2-3 (Con corrección)	5,46	5,12	16,6	9,8	11,41	0,05	0,4

ANEXO 3 (Continuación)

Cuartel	Repeticiones	pH	pH	Materia orgánica (%)	P-Olsen (mg kg ⁻¹)	Bases (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	Al intercambiable (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	Saturación Al (%)
		(agua)	(CaCl ₂)					
C2	1-2-3 (Sin corrección)	5,51	4,99	14,0	9,2	7,02	0,03	0,5
	1-2-3 (Con corrección)	5,65	5,14	13,8	8,9	7,48	0,03	0,4
C3	1-2-3 (Sin corrección)	4,87	4,50	17,5	13,0	4,56	0,18	3,9
	1-2-3 (Con corrección)	4,81	4,48	19,9	12,0	3,97	0,30	6,9
D1	1-2-3 (Sin corrección)	5,67	5,04	15,5	39,4	6,98	0,15	2,1
	1-2-3 (Con corrección)	5,82	5,22	16,3	16,7	6,32	0,18	2,7
E1	1-2-3 (Sin corrección)	4,84	4,44	11,7	21,8	6,92	0,68	8,9
	1-2-3 (Con corrección)	4,90	4,73	11,7	31,8	10,15	0,37	3,5
E2	1-2-3 (Sin corrección)	4,85	4,49	14,1	31,2	7,26	0,63	8,0
	1-2-3 (Con corrección)	4,73	4,53	14,1	33,9	9,44	0,46	4,6

ANEXO 4 Concentraciones foliares de Al de cada una de las repeticiones para cada uno de los muestreos (mg kg⁻¹).

Cuartel	Repetición	Concentraciones foliares					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
A1	1Sin	76,3	62,4	80,6	84,2	114,5	97,9
	2Sin	82,3	64,6	83,3	82,8	141,0	113,0
	3Sin	85,3	68,5	80,1	87,2	127,0	84,2
	1Con	-	-	-	-	-	95,43
	2Con	-	-	-	-	-	82,23
	3Con	-	-	-	-	-	78,65
A2	1Sin	91,5	64,4	84,2	101,525	144,3	130,7
	2Sin	130,3	74,7	95,3	105	181,5	152,9
	3Sin	98,5	72,4	84,4	87,4	140,3	170,0
	1Con	-	-	-	-	-	103,63
	2Con	-	-	-	-	-	95,68
	3Con	-	-	-	-	-	94,05
B1	1Sin	38,0	55,3	89,8	60,9	76,9	85,9
	2Sin	53,1	51,0	86,3	66,2	83,5	117,9
	3Sin	38,8	43,0	83,8	72,4	67,5	90,7
	1Con	-	-	-	-	-	111,55
	2Con	-	-	-	-	-	103,25
	3Con	-	-	-	-	-	103,05
B2	1Sin	53,3	50,3	94,5	59,4	97,5	82,50
	2Sin	35,6	39,3	81,8	50,6	71,4	74,75
	3Sin	62,8	62,5	83,5	69,6	96,9	138,2
	1Con	-	-	-	-	-	123,75
	2Con	-	-	-	-	-	161,58
	3Con	-	-	-	-	-	180,88
B3	1Sin	71,3	71,3	108,8	88,1	118,2	167,7
	2Sin	78,5	84,3	127,5	122,0	159,5	226,0
	3Sin	52,8	63,8	119,0	82,3	144,9	220,0
	1Con	-	-	-	-	-	150,90
	2Con	-	-	-	-	-	181,25
	3Con	-	-	-	-	-	214,53
C1	1Sin	40,3	53,75	94,8	60,4	94,4	134,75
	2Sin	47,0	64,75	97,5	65,0	79,8	94,50
	3Sin	43,0	52,25	108,0	59,6	73,2	98,75
	1Con	-	-	-	-	-	109,00
	2Con	-	-	-	-	-	94,75
	3Con	-	-	-	-	-	73,75

ANEXO 4 (continuación)

Cuartel	Repetición	Concentraciones foliares					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
C2	1Sin	55,50	51,3	72,3	66,0	157,5	100,63
	2Sin	53,0	48,3	61,4	60,9	103,4	121,60
	3Sin	48,0	39,3	54,9	53,5	75,3	127,40
	1Con	-	-	-	-	-	112,63
	2Con	-	-	-	-	-	110,73
	3Con	-	-	-	-	-	96,20
C3	1Sin	53,5	67,8	115,5	82,1	131,3	111,68
	2Sin	57,0	73,0	116,8	81,8	139,7	132,50
	3Sin	52,5	74,3	105,5	84,0	157,5	120,28
	1Con	-	-	-	-	-	135,88
	2Con	-	-	-	-	-	113,48
	3Con	-	-	-	-	-	109,85
D1	1Sin	62,7	46,3	85,0	87,5	75,3	121,6
	2Sin	52,8	51,0	71,3	92,5	82,8	127,6
	3Sin	63,7	54,5	85,0	93,0	88,8	125,8
	1Con	-	-	-	-	-	174,28
	2Con	-	-	-	-	-	701,23
	3Con	-	-	-	-	-	120,80
E1	1Sin	96,0	45,0	97,0	92,3	110,7	111,4
	2Sin	106,8	41,0	107,3	84,3	114,175	111,1
	3Sin	79,3	38,3	107,0	90,3	143,5	110,3
	1Con	-	-	-	-	-	119,83
	2Con	-	-	-	-	-	145,55
	3Con	-	-	-	-	-	122,13
E2	1Sin	72,8	40,8	89,5	84,5	109,2	119,0
	2Sin	85,5	35,5	90,5	98,5	98,4	100,8
	3Sin	79,3	41,3	80,8	78,0	107,7	103,5
	1Con	-	-	-	-	-	108,73
	2Con	-	-	-	-	-	93,20
	3Con	-	-	-	-	-	112,18

M1: Muestreo 15/12/09; M2: Muestreo 06/01/10; M3: Muestreo 25/01/10; M4: Muestreo 15/02/10; M5: Muestreo 09/03/10; M6: 13/04/10.

(-): Mediciones no realizadas durante la etapa de estudio.

ANEXO 5 Resultados de los análisis de calidad de frutos a la cosecha y en la postcosecha.

CUARTEL A1													
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
1Sin	0	16	68	2	0	86	15-20	0,00	19,50	144,20	7,00	0,00	170,70
2Sin	0	0	59	8	0	67	15-20	0,00	0,00	128,96	26,58	0,00	155,54
3Sin	0	1	59	6	0	66	15-20	0,00	1,50	139,90	21,90	0,00	163,30
1Con	0	1	50	11	0	62	15-20	0,00	1,25	135,09	39,11	0,00	175,45
2Con	0	7	58	5	0	70	15-20	0,00	10,10	135,10	18,90	0,00	164,10
3Con	0	7	58	3	0	68	15-20	0,00	8,90	139,90	11,40	0,00	160,20
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1Sin	2,9	1,6	2,5	2,4	1,9	2,3	0,5	23					
2Sin	1,6	2,3	2,6	1,6	2,2	2,1	0,4	21					
3Sin	2,8	2,3	1,9	2,2	1,8	2,2	0,4	18					
1Con	2,9	3,2	3,0	3,2	3,1	3,1	0,1	4					
2Con	2,0	2,7	2,5	2,2	3,0	2,5	0,4	16					
3Con	2,5	2,7	2,7	2,6	3,0	2,7	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	
1Sin	56	5	0	0	0	7	68	12,7	4,8	0,61	33,65	24	
2Sin	56	1	0	0	1	1	59	13,8	5,2	0,67	30,45	17	
3Sin	53	2	0	0	0	4	59	12,2	5,1	0,65	29,25	23	
1Con	49	1	0	0	0	0	50	12,8	5,1	0,65	30,20	20	
2Con	50	2	0	2	0	4	58	12,2	4,7	0,60	29,40	24	
3Con	50	6	0	0	0	2	58	12,6	5,3	0,68	33,65	17	

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
1Sin	58	2	2	0	0	0	62	13,3	5,4	0,69	28,60	12
2Sin	50	14	1	0	0	2	67	12,9	4,9	0,63	22,25	24
3Sin	42	14	0	0	3	3	62	11,8	5	0,64	28,50	19
1Con	45	12	1	0	5	2	65	12,4	5,4	0,69	27,60	23
2Con	42	30	0	0	0	1	73	13,1	5,3	0,68	28,20	26
3Con	44	20	0	0	1	1	66	12,5	5,7	0,73	32,25	14
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
1Sin	28	0	3	1	7	27	66	13,9	5,1	0,65	39,65	13
2Sin	3	2	2	0	5	26	38	13,3	5,6	0,72	38,20	7
3Sin	26	8	1	2	3	23	63	13,0	5,6	0,72	36,10	15
1Con	25	0	1	1	7	21	55	12,5	5,7	0,73	36,70	14
2Con	18	2	0	0	3	27	50	14,0	6	0,77	32,55	20
3Con	26	4	2	0	10	15	57	13,0	5,6	0,72	36,75	14

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL A2													
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
1Sin	0	27	62	0	0	89	15-20	0,00	38,51	126,34	0,00	0,00	164,85
2Sin	0	16	75	1	0	92	15-20	0,00	23,41	158,00	3,40	0,00	184,81
3Sin	0	14	66	0	0	80	15-20	0,00	19,25	147,45	0,00	0,00	166,70
1Con	0	19	69	0	0	88	15-20	0,00	25,27	144,69	0,00	0,00	169,96
2Con	0	0	80	0	0	80	15-20	0,00	0,00	174,47	0,00	0,00	174,47
3Con	0	8	68	0	0	76	15-20	0,00	11,63	149,60	0,00	0,00	161,23
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1Sin	2,0	2,3	1,7	2,4	2,8	2,2	0,4	19					
2Sin	2,1	2,7	2,3	2,0	1,6	2,1	0,4	19					
3Sin	1,6	1,8	1,9	1,8	1,5	1,7	0,2	10					
1Con	2,2	2,4	2,1	1,8	2,2	2,1	0,2	10					
2Con	1,8	2,0	2,0	1,9	2,2	2,0	0,1	7					
3Con	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,3	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	
1Sin	40	3	9	1	0	9	62	15,1	6,6	0,84	25,90	14	
2Sin	54	9	0	0	0	12	75	13,1	6,4	0,82	27,60	18	
3Sin	28	14	12	1	0	11	66	14,9	6	0,77	28,45	14	
1Con	43	10	8	0	0	8	69	16,1	5,2	0,67	24,05	17	
2Con	66	5	1	0	0	8	80	13,2	6,7	0,86	28,50	16	
3Con	52	4	2	1	0	9	68	13,8	5,7	0,73	28,30	15	

ANEXO 5 (continuación).

EVALUACIONES A LOS 20 DÍAS DE POSCOSECHA													
Repetición	Firme	Blando	Tipo fruto (N°)					Total	Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
			Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Gasto (mL)			Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas	
1Sin	15	18	28	2	2	0	65	14,9	7,1	0,91	36,85	24	
2Sin	12	10	30	1	4	5	62	14,3	6	0,77	37,85	32	
3Sin	18	12	23	2	2	10	67	13,8	6,9	0,88	41,65	15	
1Con	28	14	24	3	0	1	70	15,7	7,3	0,93	37,00	17	
2Con	13	32	15	0	1	8	69	14,0	7	0,90	31,65	21	
3Con	8	11	39	0	1	12	71	16,4	6,9	0,88	37,85	15	
EVALUACIONES A LOS 40 DÍAS DE POSCOSECHA													
Repetición	Firme	Blando	Tipo fruto (N°)					Total	Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
			Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Gasto (mL)			Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas	
1Sin	32	7	11	0	2	18	70	13,2	6,9	0,88	40,25	23	
2Sin	12	18	36	0	6	0	72	12,4	6,4	0,82	40,20	13	
3Sin	8	3	31	0	7	2	51	16,2	7,3	0,93	30,85	23	
1Con	0	8	45	0	9	2	64	15,9	6,6	0,84	42,75	13	
2Con	21	18	22	0	8	10	79	13,9	5,2	0,67	41,70	13	
3Con	13	4	48	0	4	4	73	16,1	7,1	0,91	40,70	21	

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL B1													
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
1Sin	0	117	35	0	0	152	10-15	0,00	120,10	60,80	0,00	0,00	180,90
2Sin	0	146	13	0	0	159	10-15	0,00	145,88	21,68	0,00	0,00	167,56
3Sin	0	156	5	0	0	161	10-15	0,00	130,09	8,00	0,00	0,00	138,09
1Con	0	101	38	0	0	139	10-15	0,00	109,01	65,18	0,00	0,00	174,19
2Con	0	166	10	0	0	176	10-15	0,00	147,64	16,89	0,00	0,00	164,53
3Con	0	152	17	0	0	169	10-15	0,00	152,49	30,07	0,00	0,00	182,56
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1Sin	1,0	1,1	1,2	1,2	1,4	1,2	0,1	13					
2Sin	1,1	0,9	0,7	1,2	1,2	1,0	0,2	19					
3Sin	0,8	1,4	1,3	0,8	0,9	1,0	0,3	26					
1Con	1,2	1,3	1,1	0,7	1,2	1,1	0,2	21					
2Con	1,2	1,5	0,9	1,0	0,8	1,1	0,3	26					
3Con	1,2	1,3	1,2	1,1	1,3	1,2	0,1	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	
1Sin	114	0	0	0	0	3	117	13,8	7,1	0,91	38,45	12	
2Sin	144	0	0	0	0	2	146	14,4	5	0,64	37,75	18	
3Sin	151	2	0	0	0	3	156	13,2	6,9	0,88	44,15	12	
1Con	100	0	0	0	0	1	101	13,8	5,6	0,72	42,45	16	
2Con	166	0	0	0	0	0	166	13,1	7	0,90	46,60	10	
3Con	150	1	0	0	0	1	152	14,3	6,1	0,78	45,25	8	

ANEXO 5 (continuación).

EVALUACIONES A LOS 20 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total	solubles (%)	Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1Sin	147	0	0	0	1	0	148	12,4	5,7	0,73	43,55	11
2Sin	144	2	0	0	0	0	146	13,6	4,6	0,59	44,05	11
3Sin	140	2	0	0	0	2	144	13,8	5,3	0,68	41,45	8
1Con	130	0	0	0	1	1	132	12,9	6	0,77	44,35	10
2Con	146	2	0	0	0	0	148	13,6	5,7	0,73	32,10	13
3Con	169	2	0	0	0	0	171	14,0	5,7	0,73	46,70	6

EVALUACIONES A LOS 40 DÍAS DE POSCOSECHA												
Tipo fruto (N°)								Sólidos	Acidez titulable		Firmeza	
Repetición	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total	solubles (%)	Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1Sin	104	1	1	1	2	11	120	14,1	5,7	0,73	43,65	11
2Sin	120	7	5	3	1	2	138	14,9	4,7	0,60	36,60	10
3Sin	115	3	1	0	3	8	130	14,4	5,2	0,67	40,60	10
1Con	72	4	1	0	11	19	107	14,1	6	0,77	40,80	8
2Con	70	14	1	1	4	33	123	14,8	5,5	0,70	40,95	15
3Con	73	6	0	0	1	31	111	14,6	6,1	0,78	47,90	8

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL B2													
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
1Sin	0	46	47	0	0	93	15-20	0,00	52,50	76,00	0,00	0,00	128,50
2Sin	0	108	30	0	0	138	10-15	0,00	111,44	55,83	0,00	0,00	167,27
3Sin	0	75	51	0	0	126	10-15	0,00	83,70	86,10	0,00	0,00	169,80
1Con	0	81	35	0	0	116	10-15	0,00	98,31	65,74	0,00	0,00	164,05
2Con	0	38	34	0	0	72	10-15	0,00	48,91	66,51	0,00	0,00	115,42
3Con	0	83	37	0	0	120	10-15	0,00	91,10	67,10	0,00	0,00	158,20
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1Sin	1,2	1,7	1,8	1,9	1,9	1,7	0,3	17					
2Sin	1,5	1,4	1,2	1,0	1,1	1,3	0,2	17					
3Sin	1,9	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	0,2	9					
1Con	1,1	1,4	1,3	1,3	1,2	1,3	0,1	9					
2Con	1,4	1,6	1,5	1,1	1,5	1,4	0,2	13					
3Con	1,4	1,4	0,9	1,4	1,2	1,3	0,2	17					
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza		
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Podrido	Otro	Total		Gasto (mL)	Acido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas	
1Sin	46	0	0	0	0	1	47	12,7	6,8	0,87	42,00	13	
2Sin	108	0	0	0	0	0	108	12,2	6,7	0,86	42,45	14	
3Sin	74	0	0	0	0	1	75	13,3	6,5	0,83	40,60	9	
1Con	80	0	0	0	0	1	81	13,5	5,6	0,72	41,90	17	
2Con	35	0	0	0	0	3	38	13,3	4,8	0,61	38,45	17	
3Con	82	0	0	0	0	1	83	13,0	5	0,77	51,70	11	

ANEXO 5 (continuación).

EVALUACIONES A LOS 20 DÍAS DE POSCOSECHA												
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos	Acidez titulable		Firmeza	
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total	Solubles (%)	Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1Sin	75	17	0	0	12	0	104	13,6	6,9	0,88	43,25	8
2Sin	134	8	0	0	0	0	142	14,1	5,5	0,70	41,90	12
3Sin	122	2	0	0	0	1	125	13,1	6,8	0,87	43,75	7
1Con	113	1	0	0	0	1	115	13,1	6	0,77	44,25	13
2Con	82	4	0	0	0	2	88	13,0	5,3	0,68	39,15	8
3Con	111	1	0	0	0	1	113	13,3	7	0,90	44,85	11
EVALUACIONES A LOS 40 DÍAS DE POSCOSECHA												
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos	Acidez titulable		Firmeza	
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total	solubles (%)	Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1Sin	57	6	2	0	5	9	79	14,0	5,6	0,72	37,60	10
2Sin	28	3	1	0	13	26	71	12,6	6,7	0,86	34,80	13
3Sin	93	8	0	0	0	0	101	13,2	6	0,77	35,55	11
1Con	65	2	0	1	4	24	96	12,4	6	0,77	31,00	15
2Con	64	2	0	1	1	3	71	13,6	5,9	0,76	34,85	10
3Con	81	10	1	0	0	2	94	12,8	5,4	0,69	34,05	9

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL B3													
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
1Sin	0	36	70	0	0	106	15-20	0,00	50,10	130,00	0,00	0,00	180,10
2Sin	0	7	87	6	0	100	15-20	0,00	7,59	152,38	17,12	0,00	177,09
3Sin	0	47	75	0	0	122	15-20	0,00	52,55	114,27	0,00	0,00	166,82
1Con	0	38	52	0	0	90	15-20	0,00	56,90	106,40	0,00	0,00	163,30
2Con	0	26	73	0	0	99	15-20	0,00	29,93	126,25	0,00	0,00	156,18
3Con	0	23	64	1	0	88	15-20	0,00	29,90	117,80	33,00	0,00	180,70
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1Sin	2,0	1,8	1,8	1,9	1,8	1,9	0,1	5					
2Sin	2,9	2,5	2,4	2,4	1,8	2,4	0,4	17					
3Sin	1,9	2,2	1,7	1,8	1,7	1,8	0,2	10					
1Con	1,7	2,0	1,9	2,3	1,8	1,9	0,2	12					
2Con	2,0	2,6	1,9	2,1	2,0	2,1	0,3	13					
3Con	1,7	1,9	2,0	2,2	1,6	1,9	0,2	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	
1Sin	64	3	0	0	0	3	70	12,3	8,3	1,06	34,85	10	
2Sin	82	3	0	0	0	2	87	11,2	8,6	1,10	38,10	12	
3Sin	68	6	0	0	0	1	75	12,0	10,9	1,40	36,40	7	
1Con	48	4	0	0	0	0	52	12,6	8	1,02	36,40	10	
2Con	70	1	0	0	0	2	73	13,5	9	1,15	37,10	13	
3Con	53	2	1	1	0	7	64	12,1	10,9	1,40	41,90	14	

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
1Sin	40	15	2	0	0	9	66	13,3	9,1	1,16	38,85	11
2Sin	38	3	4	0	0	26	71	12,2	10,3	1,32	38,20	10
3Sin	56	2	0	0	0	27	85	11,4	10,5	1,34	43,90	14
1Con	23	14	14	1	0	15	67	140,0	8,5	1,09	32,90	13
2Con	29	11	7	1	0	5	53	13,4	9,2	1,18	38,85	11
3Con	23	6	2	0	0	21	52	12,2	10,5	1,34	38,25	14
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
1Sin	13	23	19	0	8	2	65	14,7	9,4	1,20	33,75	17
2Sin	18	11	11	3	2	15	60	12,9	11,1	1,42	36,85	20
3Sin	15	3	18	3	0	18	57	13,0	11,7	1,50	32,40	20
1Con	26	17	13	0	3	6	65	14,6	9	1,15	37,40	16
2Con	17	18	22	0	3	5	65	14,3	8,4	1,08	33,70	21
3Con	23	17	23	0	0	21	84	12,6	10,4	1,33	32,25	20

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL C1														
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	
1Sin	0	138	35	0	0	173	10-15	0,00	131,68	54,48	0,00	0,00	186,16	
2Sin	0	103	43	0	0	146	10-15	0,00	106,36	68,70	0,00	0,00	175,06	
3Sin	0	114	33	0	0	147	10-15	0,00	125,20	58,20	0,00	0,00	183,40	
1Con	0	102	29	0	0	131	10-15	0,00	116,20	48,80	0,00	0,00	165,00	
2Con	0	91	41	0	0	132	10-15	0,00	102,60	74,60	0,00	0,00	177,20	
3Con	0	78	52	0	0	130	10-15	0,00	93,90	90,20	0,00	0,00	184,10	
Peso frutos individuales calibre modal (g)														
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)						
1Sin	1,1	1,0	1,1	0,9	0,9	1,0	0,1	10						
2Sin	1,1	1,1	0,7	1,3	0,8	1,0	0,2	25						
3Sin	1,3	1,3	0,6	1,4	1,5	1,2	0,4	29						
1Con	1,1	1,0	1,2	1,1	1,2	1,1	0,1	7						
2Con	1,3	1,1	1,4	1,0	0,9	1,1	0,2	18						
3Con	1,3	1,3	1,2	1,0	1,0	1,2	0,2	13						
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza			
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Podrido	Otro	Total		Gasto (mL)	Acido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas		
1Sin	137	0	0	0	0	1	138	12,3	7,3	0,93	28,75	17		
2Sin	101	0	0	0	0	2	103	13,2	7,2	0,92	36,30	15		
3Sin	100	11	0	3	0	0	114	12,0	6,8	0,87	36,45	14		
1Con	95	0	0	0	0	7	102	12,3	6,8	0,87	32,70	20		
2Con	84	0	0	0	0	7	91	12,6	7,2	0,92	32,95	15		
3Con	75	0	0	0	0	3	78	12,8	7,9	1,01	33,75	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
1Sin	74	0	0	0	0	11	85	12,7	7,1	0,91	44,85	8
2Sin	98	3	0	0	0	29	130	13,3	7,5	0,96	39,05	12
3Sin	73	1	0	0	0	7	81	12,1	8	1,02	46,80	6
1Con	115	0	0	2	0	7	124	12,9	6,6	0,84	48,75	7
2Con	83	37	0	7	0	3	130	12,7	6,6	0,84	43,70	10
3Con	55	4	0	1	0	4	64	12,8	7	0,90	41,35	10
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
1Sin	116	0	2	0	3	33	154	12,9	7,2	0,92	43,35	8
2Sin	98	8	4	1	8	33	152	13,9	6,6	0,84	40,55	13
3Sin	79	0	0	2	0	17	98	12,5	6,8	0,87	40,75	13
1Con	83	8	0	0	4	9	104	13,8	6,6	0,84	31,55	28
2Con	41	4	0	1	7	85	138	12,9	6,1	0,78	40,60	16
3Con	80	6	3	1	4	14	108	12,8	6,4	0,82	40,00	11

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL C3													
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
1Sin	0	63	40	0	0	103	10-15	0,00	81,33	64,88	0,00	0,00	146,21
2Sin	0	39	63	0	0	102	15-20	0,00	50,81	108,99	0,00	0,00	159,80
3Sin	0	30	62	0	0	92	15-20	0,00	37,35	115,08	0,00	0,00	152,43
1Con	0	39	66	0	0	105	15-20	0,00	50,90	112,15	0,00	0,00	163,05
2Con	0	83	38	0	0	121	10-15	0,00	99,02	61,27	0,00	0,00	160,29
3Con	0	22	65	0	0	87	15-20	0,00	30,48	123,75	0,00	0,00	154,23
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1Sin	1,4	1,3	1,2	1,3	1,1	1,3	0,1	9					
2Sin	1,5	1,5	1,6	2,0	1,8	1,7	0,2	13					
3Sin	1,6	1,7	1,5	1,4	1,5	1,5	0,1	7					
1Con	1,7	1,6	1,6	1,8	1,6	1,7	0,1	5					
2Con	1,3	1,2	1,3	1,2	1,1	1,2	0,1	7					
3Con	1,8	1,7	1,6	1,7	2,1	1,8	0,2	11					
Repetición	Tipo fruto (N°)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza		
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Podrido	Otro	Total		Gasto (mL)	Acido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas	
1Sin	60	1	0	0	0	2	63	14,6	8,1	1,04	36,25	14	
2Sin	58	1	0	0	0	4	63	13,9	8,6	1,10	32,80	10	
3Sin	56	0	0	0	0	6	62	13,0	8,1	1,04	31,80	12	
1Con	57	0	0	0	0	9	66	12,9	7,3	0,93	34,55	13	
2Con	74	1	0	0	0	8	83	14,4	7,9	1,01	31,08	14	
3Con	61	0	0	0	0	4	65	13,6	8,5	1,09	31,40	11	

ANEXO 5 (continuación).

EVALUACIONES A LOS 20 DÍAS DE POSCOSECHA												
Repetición	Tipo fruto (Nº)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1Sin	31	7	10	0	0	10	58	14,6	6,7	0,86	28,55	12
2Sin	46	6	7	0	0	9	68	13,9	8,7	1,11	32,00	13
3Sin	16	8	11	0	0	16	51	14,5	8,1	1,04	28,50	18
1Con	39	4	6	0	0	11	60	14,8	8	1,02	37,50	6
2Con	23	5	17	0	0	15	60	14,7	7,5	0,96	31,65	8
3Con	40	6	9	0	0	11	66	14,4	7,1	0,91	35,00	8
EVALUACIONES A LOS 40 DÍAS DE POSCOSECHA												
Repetición	Tipo fruto (Nº)							Sólidos solubles (%)	Acidez titulable		Firmeza	
	Firme	Blando	Desh.	Machucado	Pudrición	Otro	Total		Gasto (mL)	Ácido cítrico (%)	Promedio 10 lecturas	CV (%) 10 lecturas
1Sin	18	9	20	0	0	6	53	14,6	7,7	0,99	38,25	8
2Sin	34	13	39	0	0	21	107	15,2	9,1	1,16	34,30	17
3Sin	14	2	29	0	1	8	54	16,4	8,6	1,10	36,35	19
1Con	10	11	23	0	3	11	58	13,9	8	1,02	39,65	7
2Con	21	7	29	0	2	13	72	14,8	8,7	1,11	28,50	30
3Con	27	5	21	1	0	10	64	10,6	7,8	1,00	34,40	17

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL D1													
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
1Sin	0	36	61	0	0	97	15-20	0,00	45,50	108,00	0,00	0,00	153,50
2Sin	0	37	67	0	0	104	15-20	0,00	47,20	116,40	0,00	0,00	163,60
3Sin	0	70	35	0	0	105	10-15	0,00	87,50	60,60	0,00	0,00	148,10
1Con	0	36	47	0	0	83	15-20	0,00	48,50	84,60	0,00	0,00	133,10
2Con	0	99	20	0	0	119	10-15	0,00	120,10	34,30	0,00	0,00	154,40
3Con	0	78	40	0	0	118	10-15	0,00	99,50	69,20	0,00	0,00	168,70
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1Sin	1,8	2,2	1,9	1,8	1,7	1,9	0,2	10					
2Sin	1,6	1,6	1,6	1,9	2,0	1,7	0,2	11					
3Sin	1,2	1,3	1,8	1,3	1,3	1,4	0,2	17					
1Con	2,3	1,7	1,5	1,8	1,8	1,8	0,3	16					
2Con	1,3	1,5	1,4	1,1	1,4	1,3	0,2	11					
3Con	1,5	1,4	1,5	1,2	1,3	1,4	0,1	9					
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	
1Sin	38	18	0	0	0	5	61	13,2	7,5	0,96	30,75	14	
2Sin	46	21	0	0	0	0	67	12,1	6,7	0,86	33,00	12	
3Sin	45	19	0	0	0	6	70	14,6	6,7	0,86	32,80	17	
1Con	27	11	0	0	0	9	47	12,8	7,1	0,91	34,00	11	
2Con	61	31	2	0	0	5	99	13,7	6,9	0,88	33,80	13	
3Con	37	32	0	0	0	9	78	12,1	5,9	0,76	25,00	16	

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
1Sin	21	9	9	3	0	8	50	13,5	6,2	0,79	36,65	8
2Sin	18	15	14	0	0	9	56	14,2	6,8	0,87	32,95	16
3Sin	19	23	7	0	0	43	92	12,1	8,1	1,04	35,70	14
1Con	35	8	4	0	0	23	70	12,1	7,6	0,97	28,60	18
2Con	32	9	2	0	2	22	67	13,6	6,1	0,78	35,85	11
3Con	15	17	12	0	0	34	78	11,2	8,1	1,04	35,50	15
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
1Sin	16	13	3	0	1	26	59	12,7	7,6	0,97	41,90	8
2Sin	8	0	33	0	2	7	50	13,7	6,3	0,81	43,30	10
3Sin	13	2	34	1	0	17	67	13,8	7,1	0,91	48,55	10
1Con	6	4	29	0	2	12	53	13,3	7,2	0,92	44,55	12
2Con	11	6	37	0	4	18	76	13,7	6,3	0,81	46,65	9
3Con	27	5	25	0	2	12	71	12,6	7,3	0,93	42,60	18

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL E1													
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
1Sin	0	29	79	0	0	108	15-20	0,00	29,77	120,83	0,00	0,00	150,60
2Sin	0	38	72	0	0	110	15-20	0,00	36,35	116,01	0,00	0,00	152,36
3Sin	0	37	46	0	0	82	15-20	0,00	41,10	93,10	0,00	0,00	134,20
1Con	0	21	62	1	0	84	15-20	0,00	21,46	102,36	3,21	0,00	127,03
2Con	0	41	70	0	0	111	15-20	0,00	40,20	107,28	0,00	0,00	147,48
3Con	0	25	59	0	0	84	15-20	0,00	29,80	109,20	0,00	0,00	139,00
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1Sin	1,6	1,5	2,3	2,0	1,4	1,7	0,4	21					
2Sin	1,9	2,4	1,4	1,4	1,4	1,7	0,5	27					
3Sin	2,8	1,9	1,8	3,8	1,8	2,4	0,9	36					
1Con	2,5	1,5	2,4	2,1	2,1	2,1	0,4	18					
2Con	2,2	1,7	1,3	1,3	1,3	1,5	0,4	26					
3Con	2,1	1,8	1,9	1,4	2,0	1,8	0,3	15					
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	
1Sin	78	0	0	0	0	1	79	13,8	6,7	0,86	41,60	10	
2Sin	69	1	0	0	0	2	72	13,6	6,1	0,78	37,30	15	
3Sin	41	0	0	0	0	4	45	13,8	7,4	0,95	39,65	9	
1Con	61	0	0	0	0	1	62	14,0	7	0,90	41,55	9	
2Con	69	1	0	0	0	0	70	13,9	6,8	0,87	40,40	12	
3Con	59	0	0	0	0	0	59	12,8	6,7	0,86	40,25	18	

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
1Sin	41	0	0	0	0	16	57	14,6	7,1	0,91	45,35	8
2Sin	68	0	0	0	0	4	72	13,7	7,5	0,96	28,75	22
3Sin	49	0	0	1	0	5	55	14,4	6,9	0,88	49,40	10
1Con	44	0	0	0	0	10	54	14,8	6,6	0,84	46,45	11
2Con	61	0	0	0	0	18	79	14,8	6,9	0,88	48,70	6
3Con	56	0	0	3	0	9	68	13,2	7	0,90	40,35	22
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
1Sin	41	0	0	0	0	16	57	14,6	7,1	0,91	45,35	8
2Sin	68	0	0	0	0	4	72	13,7	7,5	0,96	28,75	22
3Sin	49	0	0	1	0	5	55	14,4	6,9	0,88	49,40	10
1Con	44	0	0	0	0	10	54	14,8	6,6	0,84	46,45	11
2Con	61	0	0	0	0	18	79	14,8	6,9	0,88	48,70	6
3Con	56	0	0	3	0	9	68	13,2	7	0,90	40,35	22

ANEXO 5 (continuación).

CUARTEL E2													
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
1Sin	0	66	38	0	0	104	10-15	0,00	86,60	66,98	0,00	0,00	153,58
2Sin	0	102	22	0	0	124	10-15	0,00	123,16	37,86	0,00	0,00	161,02
3Sin	0	29	62	0	0	91	15-20	0,00	39,00	113,38	0,00	0,00	152,38
1Con	0	16	76	0	0	92	15-20	0,00	21,92	136,65	0,00	0,00	158,57
2Con	0	71	40	0	0	111	10-15	0,00	87,59	68,23	0,00	0,00	155,82
3Con	0	73	39	0	0	112	10-15	0,00	89,62	66,30	0,00	0,00	155,92
Peso frutos individuales calibre modal (g)													
	Fruto 1	Fruto 2	Fruto 3	Fruto 4	Fruto 5	Promedio	DE	CV (%)					
1Sin	1,5	1,1	1,1	1,5	1,5	1,3	0,2	16					
2Sin	0,9	1,2	1,2	1,3	0,9	1,1	0,2	17					
3Sin	1,6	1,5	1,9	1,8	1,5	1,7	0,2	11					
1Con	1,5	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	0,1	5					
2Con	1,4	1,4	1,2	1,4	1,3	1,3	0,1	7					
3Con	1,2	1,2	0,9	1,0	1,2	1,1	0,1	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	
1Sin	60	1	0	1	0	4	66	15,0	7,1	0,91	34,55	15	
2Sin	80	8	7	0	0	9	102	16,1	7,4	0,95	37,65	24	
3Sin	46	7	4	0	0	5	62	15,3	6,8	0,87	29,25	14	
1Con	55	9	0	3	0	9	76	14,6	7,3	0,93	36,20	8	
2Con	61	0	2	5	0	3	71	15,3	7,6	0,97	30,85	17	
3Con	58	2	1	0	0	12	73	15,4	8,2	1,05	33,10	8	

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
1Sin	10	12	0	3	0	40	65	15,0	8	1,02	46,45	8
2Sin	6	26	3	1	0	25	61	16,1	8,4	1,08	39,55	11
3Sin	3	32	1	3	0	15	54	15,8	6,5	0,83	24,65	23
1Con	5	26	17	1	0	21	70	16,0	6,5	0,83	33,60	20
2Con	4	31	1	3	0	20	59	16,6	7,6	0,97	42,70	20
3Con	16	7	14	1	0	42	80	14,4	7	0,90	37,00	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
1Sin	12	0	32	0	1	12	57	15,3	7,3	0,93	45,95	10
2Sin	3	0	35	1	0	48	87	14,4	8,2	1,05	45,90	15
3Sin	9	0	31	0	0	22	62	16,2	8,5	1,09	51,00	13
1Con	4	0	29	0	3	25	61	14,5	7,4	0,95	32,00	33
2Con	13	0	57	0	6	28	104	15,6	8,3	1,06	49,45	10
3Con	20	0	40	0	8	17	85	15,7	8,5	1,09	49,95	8

No se realizaron análisis de calidad en el cuartel C2.